

Univerzita Karlova, Lékařská fakulta v Hradci Králové
doktorský studijní program Hygiena, preventivní lékařství

**MOŽNOSTI HODNOCENÍ NEPROFESIONÁLNÍ
EXPOZICE NÍZKOFREKVENČNÍMU HLUKU**

**THE POSSIBLE ASSESSMENTS OF UNPROFESSIONAL
EXPOSURES
OF LOW FREQUENCY NOISE**

Dana Potužníková

Školitel: prof. Ing. Zdeněk Fiala, CSc.

Školitel konzultant: doc. MUDr. Lenka Borská, Ph.D.

Hradec Králové, 2018

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem doktorskou disertační práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje. Zároveň dávám souhlas k tomu, aby tato práce byla uložena v Lékařské knihovně Lékařské fakulty UK v Hradci Králové a zde užívána ke studijním účelům za předpokladu, že každý, kdo tuto práci použije pro svou publikační nebo přednáškovou činnost, se zavazuje, že bude tento zdroj informací řádně citovat.

Souhlasím se zpřístupněním elektronické verze mé práce v informačním systému Univerzity Karlovy v Praze.

Hradec Králové, září 2018

Dana Potužníková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli prof. Ing. Zdeňkovi Fialovi, CSc. za odborné vedení a trpělivost, doc. MUDr. Lence Borské, Ph.D. za cenné informace a konzultace.

Dále můj velký dík patří Ing. Tomášovi Hellmuthovi, CSc. za vytvoření potřebného zázemí, za jeho pochopení, pomoc a podporu při mé práci.

Speciální poděkování patří všem mým kolegům z Národní referenční laboratoře pro komunální hluk při Zdravotním ústavu se sídlem v Ostravě, za jejich pomoc při realizaci studie.

Zároveň bych ráda poděkovala MUDr. Peteru Bednarčíkovi, CSc. za cenné rady a pomoc a plk. PhDr. Zdeňku Hrstkovi, Ph.D. z Univerzity obrany Hradec Králové za spolupráci při vyhodnocení a interpretaci S.O.C. dotazníku.

Poděkování za pomoc a spolupráci patří pracovníkům Endokrinologického ústavu v Praze RNDr. Marii Bičíkové za odborné konzultace a především Ing. Martinu Hillovi, DrSc. za jeho pomoc, cenné informace a konzultace při vyhodnocování a interpretaci statistiky biochemických ukazatelů.

Dík patří rovněž RNDr. Aleši Bezroukovi, Ph.D. z Lékařské fakulty v Hradci Králové za pomoc při zpracování statistiky fyziologických ukazatelů.

Experimentální práce byly finančně podpořeny projektem specifického výzkumu SVV-2014-260058 a SVV-260397/2017, projektem Univerzity Karlovy v Praze, Lékařské fakulty v Hradci Králové PRVOUK P37/09 a projektem Univerzity Karlovy v Praze, Lékařské fakulty v Hradci Králové PROGRES Q40/09.

SOUHRN

Úvod:

S technickým rozvojem se v životním prostředí člověka zvyšuje počet zdrojů nízkofrekvenčního hluku a roste počet stížností osob exponovaných hlukem z těchto zdrojů. Závazný limit pro neprofesionální expozici nízkofrekvenčnímu hluku nebyl dosud, z důvodu omezeného množství údajů o rizikovitosti expozice nízkofrekvenčnímu hluku, zaveden v zemích EU či USA a nebylo ani vydáno doporučení WHO. V Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, hygienický limit pro komunální/neprofesionální expozici nízkofrekvenčnímu hluku stanoven nebyl. Vsoučasné době nemá hygienická služba České republiky k dispozici vhodné nástroje pro objektivizaci míry zdravotní rizikovitosti neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku.

Cíle:

Předkládaná disertační práce měla zjistit, zda krátkodobá experimentální expozice nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou vyvolá u experimentálního souboru dobrovolníků významné změny cirkadiálního rytmu hladin kortizolu a α -amylázy ve slinách (sliny představují biologický materiál umožňující odběr s nízkou mírou invazivity). Následně měla práce zhodnotit, zda tyto (případné) změny by bylo možné využít jako objektivní ukazatele přítomnosti stresové odpovědi.

Experimentální studie:

Byla provedena experimentální studie na souboru 100 dobrovolníků, vystavených akutní krátkodobé expozici nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou (30 min). Modelová expozice byla vytvořena podle charakteristik nízkofrekvenčního hluku, získaných z dlouhodobého měření hluku v prostředí hudebních produkcí. Před expozicí byla u participantů hodnocena míra jejich odolnosti vůči stresové reakci. V průběhu expozičního dne byly od participantů odebírány vzorky slin pro stanovení křivek cirkadiálních rytmů kortizolu a α -amylázy. V průběhu expozice byla sledována tepová frekvence a krevní tlak, před expozicí, v polovině expozice a bezprostředně po jejím ukončení byl proveden zásahový test pro zjištění vlivu expozice na soustředění participantů.

Výsledky:

Akutní krátkodobá expozice nízkofrekvenčnímu hluku ($L_{Aeq,T}$ cca 80 dB) s tónovou složkou nevyvolala za podmínek prezentované studie u žádné ze sledovaných věkových kategorií participantů významné změny cirkadiánního rytmu hladin slinného kortizolu a α -amylázy ve slinách. U žen jsme po expozici zaznamenali významný pokles tepové frekvence, systolického tlaku a schopnosti soustředění. U mužů jsme zaznamenali významný pokles systolického tlaku.

Poznatky získané v průběhu studie byly využity při formulování odborného návrhu hlukových paragrafů novely zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, která vešla platnost 1. 12. 2015. Hluk z hudebních produkcí ve venkovním prostoru byl vyjmut z kompetence orgánů ochrany veřejného zdraví (Krajských hygienických stanic) a jeho regulace přešla plně do kompetence obcí. Na základě odborných poznatků byla NRL vypracována odborná pomůcka pro obce, která byla vydána Ministerstvem zdravotnictví jako „Odborné doporučení pro regulaci expozice hluku z produkce hudby pořádané ve venkovním prostoru“ (MZ ČR, NRL, 2016).

Závěry:

Akutní krátkodobá expozice nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou (30 min) nevyvolala u souboru dobrovolníků významné změny cirkadiánních rytmů hladin kortizolu a α -amylázy ve slinách. Sledované biologické ukazatele se proto nejeví jako vhodné pro účely objektivizace stresové odpovědi na krátkodobou expozici nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou. Tyto závěry jsou zatíženy nejistotami blíže popsány v práci.

Vzhledem k tomu, že odborná literatura je zaměřena na sledování a zkoumání vlivu hluku na posluchače hudebních produkcí, a nikoliv sledování vlivu na nezúčastněné osoby, je náš soubor měření hladin hluku v zástavbě v okolí konání hudebních produkcí unikátní. Výsledky prezentované experimentální studie představují výchozí data pro pokračování výzkumu. Následující epidemiologická studie bude mít terénní charakter a bude provedena v obytné zástavbě v okolí vícedenních hudebních festivalů, při kterých je nezúčastněná populace exponována nízkofrekvenčním hlukem s tónovou složkou.

SUMMARY

Introduction:

Along with technical development, the number of sources of low frequency noise increases in the human environment and the number of complaints from people exposed to noise from these sources increases as well. The statutory limit for non-professional exposure to low frequency noise has not yet been established (due to the limited amount of data on low frequency noise exposure risks) in the EU countries (USA) and no WHO recommendations have been issued in this area. For these reasons, the hygienic limit for municipal/non-professional exposure to low frequency noise was not specified in Government Order No. 272/2011 Coll., On the Protection of Health from the Effects of Noise and Vibration. At present, the Hygienic Service of the Czech Republic does not have a suitable tool for objectivizing the level of health risk of non-professional exposure to low frequency noise.

Objectives:

The present dissertation thesis was to investigate whether the short-term experimental exposure to low frequency noise with the tonic component induces significant changes in the circadian rhythm of cortisol and alpha-amylase in saliva in the experimental set of volunteers. Saliva is a biological material that allows low-invasiveness collection. Subsequently, the work was supposed to assess whether these (possible) changes could be used as objective indicators of the presence of the stress response to the noise exposure.

Experimental study:

An experimental study was conducted on a set of 100 volunteers exposed to acute short-term exposure to low frequency noise with a tonic component (30 min). The model exposure was created according to the characteristics of low frequency noise, derived from long-term noise measurements in the environment of musical productions. Prior to the exposure, the participants were assessed for their resistance to stress response. During the exposure day, saliva samples were collected from the participants to determine the curves of circadian rhythms of cortisol and α -amylase. During the exposure, their heart rate and blood pressure were monitored and an intervention test to determine the effect of the exposure on the participants' concentration was performed before the exposure, mid-term exposure and immediately after the exposure.

Results:

Under the conditions of the present study, acute short-term exposure to low frequency noise ($L_{Aeq,T}$ cca 80 dB) with a tonic component did not trigger any significant changes in the circadian rhythm of salivary cortisol and alpha-amylase in the saliva in any of the monitored age categories. After the exposure, in women, there was a significant decrease of heart rate, systolic pressure and concentration. In men, we experienced a significant decrease of systolic pressure.

The knowledge gained during the study was used in the formulation of the expert draft of the noise sections of the amendment to the Act No. 258/2000 Coll., On the Protection of Public Health and on Amendments to Certain Related Acts, as amended, which came into force on 1 December 2015. The noise from outdoor musical production has been removed from the competence of Public Health Protection Authorities (Regional Hygiene Stations) and its regulation has been fully transferred to the competence of municipalities. On the basis of expert knowledge, the NRL developed a professional tool for municipalities which was issued by the Ministry of Health as "Expert Recommendation for Regulation of Exposure to Outdoor Musical Production Noise" (MH ČR, NRL, 2016).

Conclusions:

Acute short-term exposure to low frequency noise with a tonic component (30 min) did not induce any significant changes in the circadian rhythms of cortisol and alpha-amylase levels in the saliva of the given set of volunteers. The monitored biological indicators therefore did not appear to be appropriate for objectification of the stress response to short-term exposure to low frequency noise with the tonic component. These conclusions are burdened by the uncertainties described in the paper.

Regarding the fact that the studies found in the literature were almost exclusively focused on monitoring and studying the impact of noise on listeners of musical productions (and not on monitoring the impact on non-participants), the results of the experimental simulation of the exposure burden of the inhabitants in the surrounding area of musical productions are of a unique character. The results of the presented experimental study represent the starting data for the continuation of the research. The following epidemiological study will be of a terrain nature and will be carried out in a residential area in the vicinity of multi-day music festivals during which the non-participating population is exposed to low frequency noise with a tonal component.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ACTH	adrenokortikotropní hormon
CAR	cortisol awakening response (ranní hodnoty hladin kortizolu)
CRH	hypotalamický kortikotropin spouštějící hormon
ČR	Česká republika
DEFRA	Department for Environment, Food & Rural Affairs (Společnost pro životní prostředí, potraviny a záležitosti venkova, Velká Británie)
EC	European commission (Evropská komise)
EEA	European Environment Agency (Evropská agentura pro životní prostředí)
ENNAH	European Network for Noise and Health
EU	European Union (Evropská Unie)
EÚ Praha	Endokrinologický ústav Praha
FVZ UO	Fakulta vojenského zdravotnictví, Universita obrany Hradec Králové
IGA MZ	interní grantová agentura Ministerstva zdravotnictví
JRC	Joint Research Center (Společné výzkumné středisko (centrum))
KHS	Krajská hygienická stanice
$L_{Aeq,T}$ [dB]	ekvivalentní hladina akustického tlaku A
$L_{Aeq,8h}$ [dB]	ekvivalentní hladina akustického tlaku A pro referenční časový interval 8 h
$L_{Aeq,1h}$ [dB]	ekvivalentní hladina akustického tlaku A pro referenční časový interval 1 h
$L_{Ceq,T}$ [dB]	ekvivalentní hladina akustického tlaku C
MZ ČR	Ministerstvo zdravotnictví ČR
NRL	Národní referenční laboratoř pro komunální hluk
NV č. 272/2011 Sb.	nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů
PLD	portable listening device (osobní hudební přehrávač)
S.O.C.	Sense Of Coherence (Osobní nezdolnost typu)
TSST	Trier Social Stress Test
USA	United States of America (Spojené státy americké)
WHO	World Health Organisation (Světová zdravotnická organizace)
Zákon č. 258/2000 Sb.	zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně souvisejících předpisů, ve znění pozdějších předpisů
ZUOVA	Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě

Obsah

SOUHRN	4
SUMMARY	6
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
OBSAH	9
PŘEDMLUVA	12
CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	14
TEORETICKÁ ČÁST-ÚVOD	15
1. Charakteristika zvuku a hluku	15
1.1. Charakteristika zvuku	15
1.2. Charakteristika hluku	18
1.3. Zdroje hluku	19
2. Charakteristika nízkofrekvenčního hluku	20
2.1. Nízkofrekvenční hluk	20
2.2. Vlastnosti nízkofrekvenčního hluku	20
2.3. Zdroje nízkofrekvenčního hluku	23
3. Účinky hluku a nízkofrekvenčního hluku na organismus	24
3.1. Přímé zdravotní účinky hluku	24
3.2. Nepřímé zdravotní účinky hluku	25
3.3. Účinky nízkofrekvenčního hluku	27
4. Monitorování míry neprofesionální expozice hluku	30
4.1. Měření hlukové expozice	30
4.2. Biochemické hodnocení stresové reakce na hlukovou expozici (vybrané ukazatele ve slinách)	31
4.2.1. Ukazatele ve slinách a jejich použití	31
4.2.2. Ukazatele ve slinách a expozice hluku	31
4.2.3. Ukazatele ve slinách a expozice hudbou	32
4.2.4. Slinný kortizol	33
4.2.5. Slinná α -amyláza	34
4.2.6. Výhody a omezení odběru slin a stanovení hladin ukazatelů ve slinách	35
4.3. Odolnost osob vůči stresové reakci na hlukovou expozici	36

5. Regulace hlukové expozice	38
5.1. Základní přístupy k.regulaci hluku	38
5.2. Legislativní regulace hluku v.ČR	38
5.3. Hygienické limity hluku a jejich stanovení	38
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST-METODIKA	40
6. Monitorování neprofesionální hlukové expozice v terénu	40
7. Experimentální hluková studie	41
7.1. Modelová expozice nízkofrekvenčnímu hluku	41
7.2. Účastníci experimentální hlukové studie	41
7.3. Struktura experimentální hlukové studie	43
7.4. Biologické, fyziologické a psychologické ukazatele reakce organismu na expozici nízkofrekvenčnímu hluku	47
7.4.1. Biochemické ukazatele	47
7.4.2. Fyziologické ukazatele	49
7.4.3. Odolnost osob vůči stresové reakci na hlukovou expozici	49
7.5. Statistická vyhodnocení	51
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST-VÝSLEDKY	52
8. Neprofesionální terénní hluková studie	52
9. Experimentální hluková studie	61
9.1. Modelová expozice v experimentální hlukové studii	61
9.2. Vybrané charakteristiky skupiny participantů	63
9.3. Biologické ukazatele reakce organismu na půlhodinovou expozici nízkofrekvenčnímu hluku	64
9.3.1. Slinný kortizol	64
9.3.2. Slinná α -amyláza	67
9.4. Fyziologické ukazatele reakce organismu na půlhodinovou expozici nízkofrekvenčnímu hluku	70
9.4.1. Tepová frekvence	70
9.4.2. Krevní tlak	72
9.5. Psychologický ukazatel reakce organismu na půlhodinovou expozici nízkofrekvenčnímu hluku (Zásahový test)	75

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST-DISKUSE	76
10. Diskuse	76
10.1. Neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku	76
10.2. Stres a účinky nízkofrekvenčního hluku	79
10.3. Skupina účastníků	79
10.4. Zdroj hluku	81
10.5. Biochemické ukazatele	82
10.5.1. Slinný kortizol	82
10.5.2. Slinná α -amyláza	84
10.6. Fyziologické ukazatele	87
10.6.1. Tepová frekvence	87
10.6.2. Krevní tlak	88
10.7. Zásahový test	89
ZÁVĚR	90
Návrh dalšího postupu	91
LITERATURA	92
PŘÍLOHA	103

PŘEDMLUVA

Znečištění životního (mimopracovního) prostředí se v případě hlukové zátěže (hlukového znečištění) vztahuje především k hluku působenému silniční, železniční a leteckou dopravou, stejně tak jako průmyslovými zařízeními. Dlouhodobá expozice vysokým hladinám hluku může vést k vážným zdravotním účinkům zprostředkovaným endokrinním systémem a mozkem, jako jsou kardiovaskulární choroby, poruchy spánku a obtěžování (pocit diskomfortu ovlivňující obecnou pohodu života, wellbeing). Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) vede hlukové znečištění v Evropě k zátěži chorobami, která je z hlediska závažnosti hned druhá v pořadí za zátěží onemocněními v důsledku zátěže životního prostředí znečištěným ovzduším (WHO, 2011; EC, 2016). S technickým rozvojem se v životním prostředí člověka zvyšuje zátěž hlukem nejen z neustále rostoucí dopravy, ale i z průmyslových zdrojů, z technických zdrojů a produkcí moderní zábavní hudby ve venkovním prostředí („entertainment music“). Posledně uvedený druh expozice je významným zdrojem nízkofrekvenčního hluku s tónovou složkou. Nutno poznamenat, že posuzování a regulace nadlimitních krátkodobých expozic hluku (včetně nízkofrekvenčního) v komunálním (nepracovním) prostředí byly již před časem zařazeny mezi výzkumné priority EU - projekt CALM (EC, 2007).

Vliv expozice nízkofrekvenčnímu hluku na zdravotní stav exponovaných osob byl dosud studován jen v omezené míře (EC-JRC, 2013), přičemž stěžejní práce z této oblasti výzkumu uvádějí, že jedním z hlavních účinků nízkofrekvenčního hluku na člověka je vyvolání stresové reakce (Leventhall, 2004; Moorhouse, 2005). Za ukazatele míry intenzity stresové odpovědi na expozici stresovému faktoru mohou být považovány (vedle validovaných dotazníků) i některé biochemické ukazatele, například hladina α -amylázy pro scénáře akutního stresu či hladina kortizolu pro scénáře chronického stresu (Šušoliaková a kol., 2011; Susoliakova et al., 2014).

Stanovení limitních hodnot nízkofrekvenčního hluku v životním prostředí člověka je velmi obtížné a množství informací nutných pro stanovení tohoto limitu je stále ještě nedostačující. Z uvedeného důvodu nebyl dosud v České republice stanoven hygienický limit pro hladinu expozice nízkofrekvenčnímu hluku v komunálním (nepracovním) prostředí (Nařízení vlády č. 272/2011Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, jej pro komunální prostředí neobsahuje). Závazný limit pro nízkofrekvenční hluk

v komunálním prostředí nebyl zatím zaveden v žádné ze zemí EU či USA a není k dispozici ani doporučení WHO.

Populární venkovní hudební mega-produkce s sebou přináší společensko-zdravotní problém ve formě pocitů obtěžování hlukem u obyvatel přilehlých sídel a je příčinou opakovaně podávaných stížností/podnětů. Při produkci hudby bývají používány výkonné aparatury pro její elektroakustické zesílení a úpravu. Výsledkem je zvuk, který obsahuje z hlediska akustického též velmi výraznou nízkofrekvenční složku. Charakter tohoto zvuku je periodicky proměnný v čase a obsahuje tónové složky (Junek a kol., 2010). Pro nezúčastněné osoby ve vzdálenějších intravilánech okolních obcí (nikoliv pro návštěvníky těchto koncertů) se tato hudba stává zdrojem obtěžování, které u nich následně vyvolává stresovou reakci o různé intenzitě. Ročně bývá na území České republiky pořádáno více než sto několikadenních venkovních hudebních mega-produkcí. Počet nezúčastněných exponovaných osob se podle odhadů pohybuje okolo sto tisíc osob. Hygienická služba je v těchto případech ve složité situaci, neboť stávající systém měření a hodnocení hluku v komunálním prostředí, založený na korekci širokopásmových určujících ukazatelů hluku, podceňuje nepříznivé působení nízkofrekvenčního hluku na člověka a neumožňuje objektivně hodnotit jeho extrémní rušivost.

Z výše uvedeného textu vyplývá skutečnost, že neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku by mohla představovat zdravotně-rizikový faktor, u kterého zatím nedisponujeme vhodnými nástroji pro objektivizaci biologické (stresové) odpovědi organismu a pro související posouzení úrovně zdravotního rizika/diskomfortu. Na základě dlouholetých zkušeností s měřením a hodnocením hlukových expozic se domnívám, že vhodnou oblastí pro studium zdravotní problematiky expozice osob nízkofrekvenčnímu hluku by mohla být experimentální expozice nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou, která se do praxe promítá ve formě scénářů venkovní expozice elektroakusticky zesilované hudební produkce.

CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Výchozí situace: V současné době nemá hygienická služba k dispozici vhodné nástroje pro hodnocení/objektivizaci míry zdravotní rizikovosti neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku.

V návaznosti na výchozí situaci bylo rámcovým cílem předkládané disertační práce provedení experimentu na dobrovolnících, vystavených modelové expozici nízkofrekvenčnímu hluku. Modelová expozice byla vytvořena podle charakteristik nízkofrekvenčního hluku, získaných z dlouhodobého měření hluku v prostředí hudebních produkcí. V návaznosti na údaje z odborné literatury a zkušenosti z terénních měření lze předpokládat, že hlavním zdravotně-rizikovým faktorem expozice nízkofrekvenčnímu hluku je stresová reakce exponovaných osob, která ovlivňuje hladiny kortizolu a α -amylázy. Abychom výsledky experimentu co nejvíce přiblížili podmínkám v terénní hygienické praxi, byly pro objektivizaci stresové reakce exponovaných osob zvoleny hladiny kortizolu a α -amylázy ve slinách (minimalizace invazivity odběru biologického materiálu).

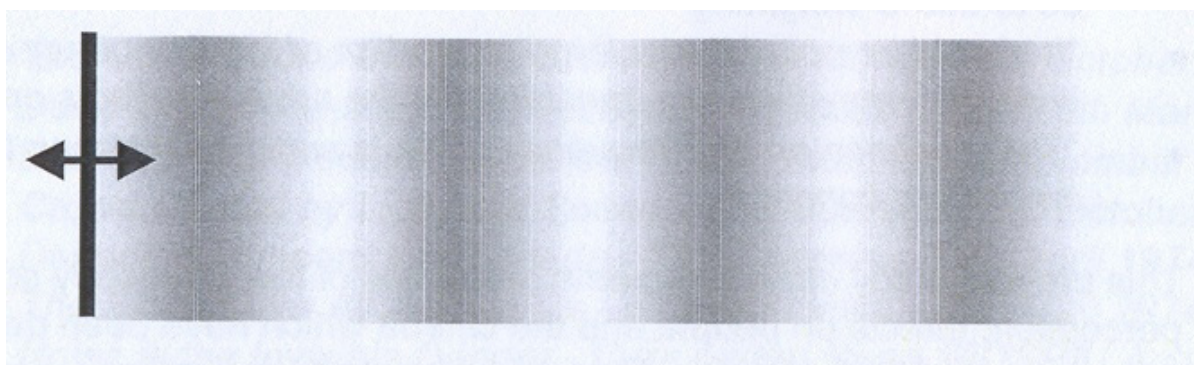
Předkládaná disertační práce měla odpovědět na základní otázku, zda krátkodobá intenzivní experimentální expozice nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou vyvolá (za podmínek experimentální studie) u souboru dobrovolníků významné změny cirkadiálního rytmu slinného kortizolu a α -amylázy, které by mohly sloužit jako návrh objektivního důkazu přítomnosti stresové odpovědi.

TEORETICKÁ ČÁST-ÚVOD

1. Charakteristika zvuku a hluku

1.1. Charakteristika zvuku

Z hlediska fyzikálního je zvuk fyzikální jev, který je možné definovat jako postupné podélné vlnění v pružném prostředí, kdy dochází k periodickému zhušťování a zředňování částic prostředí ve směru šíření vlnění (viz obrázek č. 1). Zvukové (akustické) vlnění se šíří prostředím, přičemž dochází k přenosu energie, která, je-li dostatečně silná, může vyvolat sluchový vjem.



Obrázek č. 1. Znázornění postupného podélného vlnění – zhuštění tmavě, zředění světle (Hellmuth a kol., 2013)

Zvukové vlnění se projevuje změnami tlaku v prostředí. Akustickým tlakem p [Pa] se nazývá proměnná složka tlaku vzduchu, který je superponován (načten) na statický atmosférický tlak.

Akustický tlak je určující veličinou pro popis zvukového (akustického) signálu a jeho vlastností. Změny akustického tlaku jsou vnímány jako zvuk. Minimální vnímatelná hodnota akustického tlaku se nazývá práh slyšení (sluchový práh) a je dána hodnotou p_0 (2×10^{-5} Pa). Hodnoty akustického tlaku se mění v širokém intervalu hodnot. V běžném prostředí člověka se tyto hodnoty pohybují v rozsahu hodnot $p \in \{10^{-5}, 10^8\}$ [Pa], což znamená rozsah 13. řádů (viz tab. č. 1). Takový popis vlastností akustického signálu je značně nepřehledný a nepraktický. Pro posuzování vlivu hluku na člověka se používá. Fechner-Weberův zákon, který říká, že na lineární vzrůst akustického tlaku odpovídá sluchový vjem logaritmickým vzrůstem počítku (míra vjemu zvuku/hluku je úměrná

logaritmu velikosti podnětu), což umožňuje přejít k praktičtější formě vyjadřování hlukové zátěže zavedením pojmu „hladina akustického tlaku“.

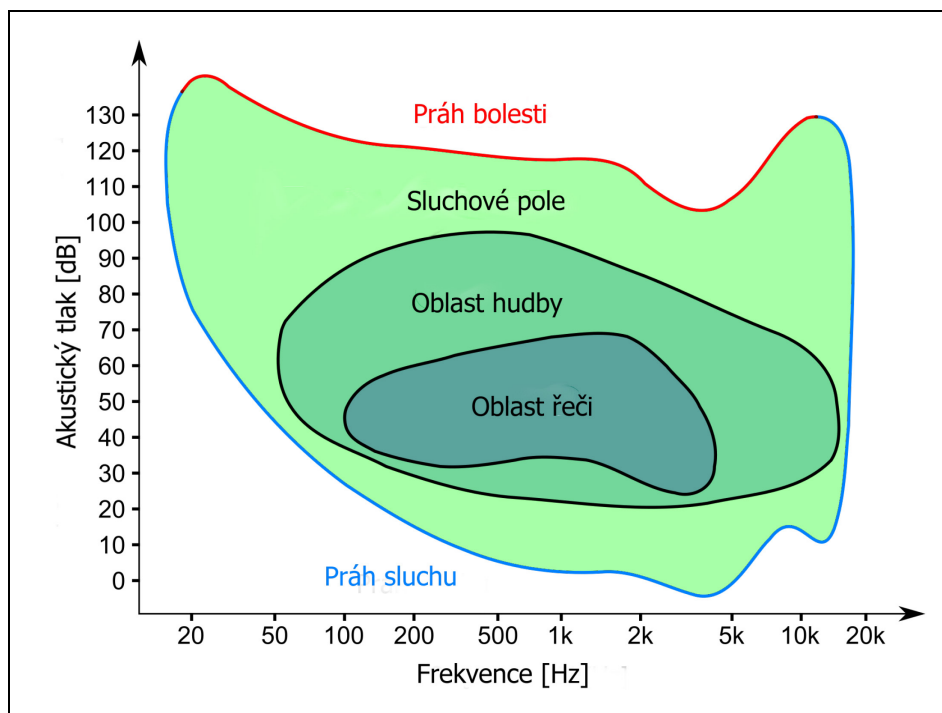
Tabulka č. 1. Vztah mezi hodnotami akustického tlaku a jeho hladinami

Expozice hluku („hlučnost“)		
p		L
[Pa]		[dB]
0,00002	2,E-05	0
0,00020	2,E-04	10
0,00200	2,E-03	20
0,02000	2,E-02	30
0,20000	2,E-01	40
2,00000	2,E+00	50
20,00000	2,E+01	60
200,00000	2,E+02	70
2 000,00000	2,E+03	80
20 000,00000	2,E+04	90
200 000,00000	2,E+05	100
2 000 000,00000	2,E+06	110
20 000 000,00000	2,E+07	120
200 000 000,00000	2,E+08	130

Hladina akustického tlaku p [Pa] je definována následujícím vztahem:

$$L = 20 \lg \left[\frac{p}{p_0} \right] [\text{dB}],$$

kde $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa (práh slyšení, referenční hodnota akustického tlaku). Práh slyšení je odlišný pro různé frekvence zvuku. Standardizovaný práh sluchu pro frekvenci 1 000 Hz je 0 dB. U nižších a vyšších frekvencí než 1 000 Hz je pak viditelný posun prahu sluchu. Pro 30 Hz se pohybuje kolem 60 dB. Naopak největší citlivost lidské ucho vykazuje při frekvencích okolo 3 500–4 000 Hz (viz obrázek č. 2), což odpovídá rezonanční frekvenci zvukovodu. Těmto frekvencím odpovídá práh sluchu –12 dB (Nave, 2013).



Obrázek č. 2. Rozložení sluchového pole s graficky vyznačeným prahem slyšení, prahem bolesti a oblastmi řeči a hudby (Modifikováno dle https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Powierzchnia_slyszalnosci.svg)

Zvuky jsou přirozeným průvodním projevem přírodních dějů a životní aktivity. Jsou přirozenou součástí životního prostředí člověka a mají pro něj velký význam, protože sluchem člověk přijímá nejvýznamnější podíl informací o svém prostředí. Zvuk je pro člověka důležitým poplašným (výstražným) a varovným signálem, varuje před nebezpečím, podněcuje aktivitu jeho nervového systému, je základem řeči, což znamená, že patří k základním komunikačním prostředkům (Havránek a kol., 1990). Na zvuky se dá nahlížet různým způsobem, nejčastěji z hlediska jejich původu, informačního obsahu, estetického působení a působení na zdraví (Otčenášek, 2008). Z hlediska fenomenologické psychologie, která se zabývá mj. prožíváním, lze zvuky definovat jako setkávání, kdy sluch je jedním z možných způsobů naší existence ve světě a vztah člověka ke zvukovému prostředí má mnoho rovin, kdy slyšet znamená být svědkem událostí (Řiháček, 2009). Zvuky mohou být uklidňující i dráždivé, mohou vyvolat emoce a ve formě hudby mohou přinést estetické zážitky. Zvuk a sluch hrají významnou roli v individuální a společenské adaptaci člověka na prostředí. Sluch je smysl, který je v pohotovosti 24 hodin denně. Nelze ho „vypnout“. Člověk je jeho prostřednictvím schopen rozlišit zdroj zvuku a jeho lokalizaci v prostoru (Havránek a kol., 1990).

Pro zdravý sluch mladého člověka jsou slyšitelné frekvence přibližně v rozmezí 16 Hz až 20 kHz. S přibývajícím věkem se horní hranice snižuje a dochází k rychlému zhoršování slyšitelnosti vysokých frekvencí. Vysokou citlivost vykazuje sluch v oblasti středních frekvencí, cca mezi 500 až 5 000 Hz. V rozmezí 500 až 2 000 Hz se nacházejí kmitočty, které jsou důležité pro slyšení řeči. Směrem k nízkým frekvencím se citlivost sluchu výrazně snižuje. Běžný lidský hlas má frekvenci cca od 200 do 4000 Hz. Nejdůležitější složky, zajišťující srozumitelnost, leží v oblasti 1–3 kHz. Vyšší frekvence se podílejí především na barvě hlasu (Vaverka et al., 1998). Frekvenční rozsah neškoleného hlasu dospělého jedince je cca 1,5 oktávy. Lidský hlas se mění s věkem. Hladina akustického tlaku A vytvářeného hlasem je při běžném hovoru cca 40 až 60 dB, při křiku cca 80 dB.

Také schopnost rozeznávat zabarvení zvuků, tedy jednotlivé tóny, se u lidí různí. Tato schopnost se označuje jako hudební sluch. Odhaduje se, že cca jeden člověk z 10 000 má „absolutní hudební sluch“, takže dokáže rozlišit i nepatrné rozdíly v tónech. Díky tomu, že člověk má uši po stranách hlavy, umožňuje sluch orientaci v prostoru, nicméně podstatně hůře než zrak. Zejména původ hlubokých nebo táhlých tónů se pomocí sluchu obtížně lokalizuje.

1.2. Charakteristika hluku

Existuje mnoho definic hluku. Obecně lze za hluk považovat jakýkoliv nechtěný zvuk. Z hlediska biologického je hluk dán kvalitou interakce zvuku s biologickým aparátem člověka. Představa, že hluk je tvořen hřmoty, pískoty a šelesty a že tedy hudba, která je tvořena z tónů, nemůže být hlukem, je nesprávná. Fyziologický účinek nepřiměřené expozice akustické energii z hudebních nebo nehumáních zvuků je u nezaujatého posluchače stejný. Hudba neztrácí účinek na smyslové buňky v Cortiho orgánu proto, že se skládá převážně z harmonických zvuků s definovatelnými kmitočty. Zpravidla obsahuje hudba méně impulzů než průmyslový hluk. Její soustředěný aktivní poslech může mít určitý ochranný vliv. V praxi však o jejím účinku na ohrožení sluchu posluchačů rozhoduje obdržená dávka akustické energie (Havránek, 1993). Hlukem může být každý zvuk, jehož účinek je provázený nepříjemnými vjemy nebo poškozením zdraví (Hlína, Geryk, 1991). Zvuky, které jsou způsobovány zdroji nezávislými na jednotlivci a jsou příliš silné, příliš časté nebo působí v nevhodné situaci a době, mohou na člověka působit nepříznivě. Obecně se tyto nechtěné zvuky, které ruší, obtěžují nebo mají dokonce škodlivé účinky, nazývají hlukem, a to bez ohledu na jejich intenzitu (Havránek a kol., 1990). Z těchto

důvodů je hluk také označován jako nechtěný zvuk, jehož účinek závisí kromě jiného na jeho intenzitě, časové historii a vlnové délce. U každého člověka existuje určitý stupeň tolerance k rušivému účinku hluku.

Z hlediska právního je hluk v legislativě ČR definován jako zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož imisní hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis (Zákon č. 258/2000 Sb.).

1.3. Zdroje hluku

Členění zdrojů hluku je možné provést podle mnoha kritérií a do mnoha skupin. Pro účely ochrany veřejného zdraví členíme zdroje hluku do dvou základních kategorií, a to podle vlivu na zdraví a možné regulace ze strany **státního zdravotního dozoru** vykonávaného orgány ochrany veřejného zdraví – KHS (Zákon č. 258/2000 Sb.; Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.). První kategorií zdrojů hluku jsou technické zdroje, ke kterým lze zařadit všechny druhy dopravy – silniční, drážní (železniční, tramvajovou, trolejbusovou, lanovou), leteckou a také stacionární (průmyslové) zdroje hluku – stroje a zařízení, průmyslové, zemědělské a skladovací areály včetně areálové dopravy. Druhou kategorií jsou náhodné (stochastické) zdroje hluku, ke kterým lze zařadit především hlasy lidí, zvukové projevy zvířat, sousedské hluky spojené s běžným užíváním bytu, veřejnou produkci hudby, hluk ze sportovních, kulturních, společenských a dalších volnočasových aktivit, přírodní zvuky.

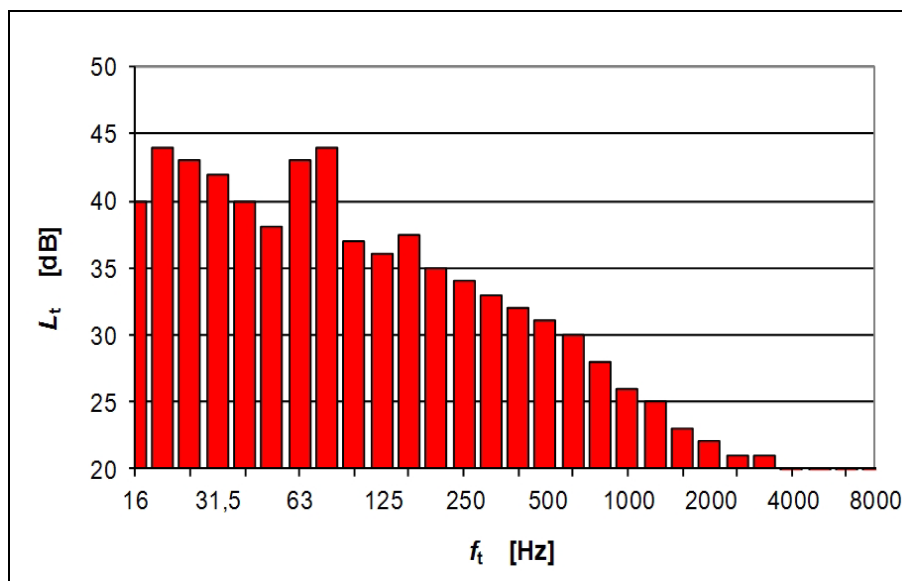
Lze poměrně jasně oddělit zdroje hluku působící v uvedených oblastech z hlediska prokázaných negativních účinků na lidské zdraví. Pro ochranu veřejného zdraví je dominantní regulace technických zdrojů hluku, reprezentovaných hlukem všech druhů dopravy a stacionárních (průmyslových) zdrojů, při jejichž regulaci prostřednictvím hygienických limitů hluku je možné vycházet z prokázaných negativních účinků na lidské zdraví (existence kvantitativních vztahů expozice-odezva). Zatím co náhodné (stochastické) zdroje hluku jsou příčinou rušení a obtěžování, které patří do oblasti akustického komfortu (Hellmuth a kol., 2016). Regulace těchto zdrojů hluku je v Evropě posuzována jako záležitost veřejného pořádku, a proto je svěřena do kompetence lokálních autorit (obce, policie), resp. je řešena v rámci občansko-právních žalob podle Občanského zákoníku.

2. Charakteristika nízkofrekvenčního hluku

2.1. Nízkofrekvenční hluk

Za nízkofrekvenční hluk se považuje zvuk, jehož výrazná akustická energie je soustředěna převážně v intervalu frekvencí 16 Hz – 200 Hz, nestanoví-li národní autority jiný rozsah (ISO 1996-2, 2017). Jako horní mez se někdy uvádí i 160 Hz (Žiaran, 2013a).

Příklad frekvenčního spektra nízkofrekvenčního hluku je uveden na obrázku č. 3.

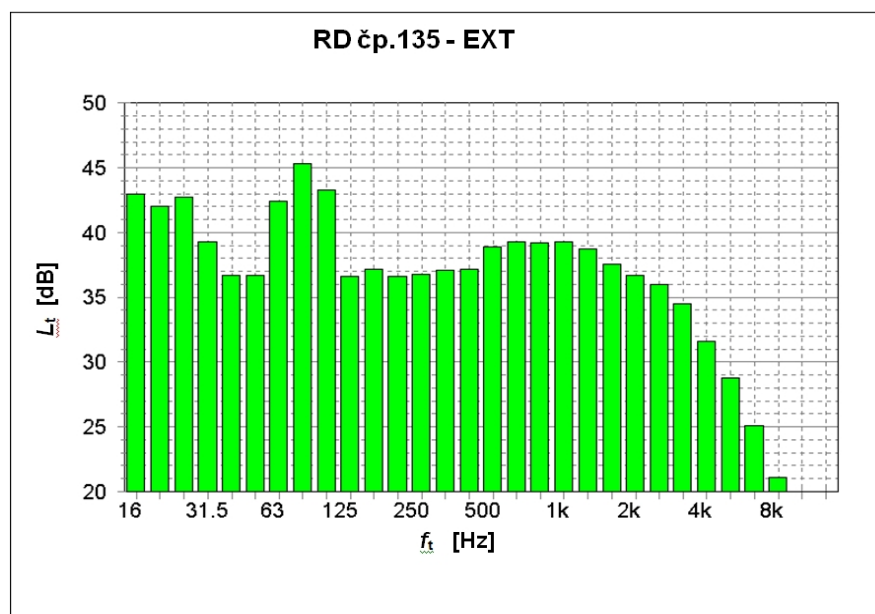


Obrázek č. 3. Třetinooktávové frekvenční spektrum nízkofrekvenčního hluku (Hellmuth a kol., 2013)

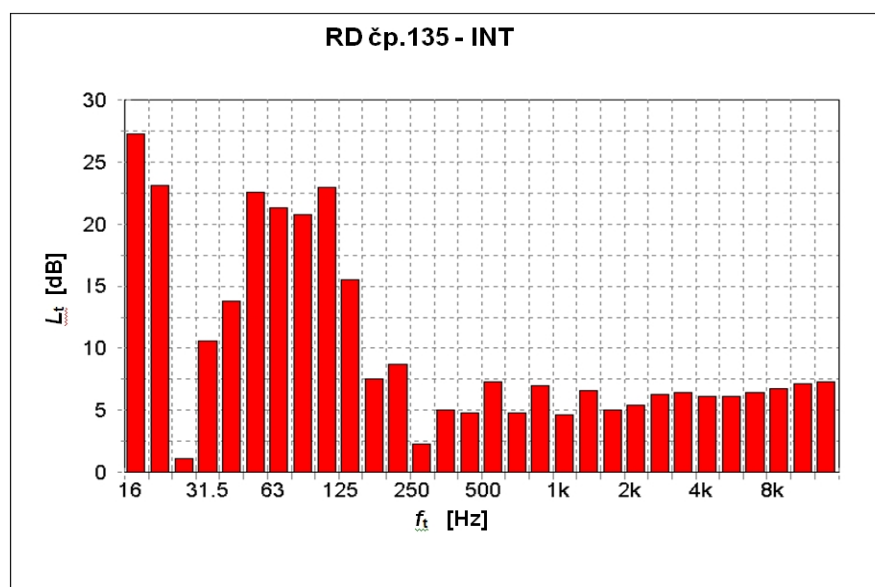
2.2. Vlastnosti nízkofrekvenčního hluku

Nízkofrekvenčnímu hluku o frekvencích 16 Hz - 100 Hz odpovídá ve vzduchu délka vlny 3,5m- 21 m, což při jeho šíření od zdroje má za následek velmi nízký útlum vzduchem, zemní absorpcí i pevnými překážkami. Útlum obvodovými konstrukcemi objektů vyžaduje extrémně těžké materiály, resp. stěny, útlum absorpcí vyžaduje tloušťky absorpčních materiálů řádově v metrech. Tyto podmínky však běžné obvodové konstrukce obytných staveb nesplňují. Výše uvedená délka vlny nízkofrekvenčního hluku je srovnatelná s rozměry místností, kam tento hluk snadno proniká, protože uvedené frekvence leží pod zvukoizolační oblastí stavebních konstrukcí, což má za následek nižší stavební neprůzvučnost na nízkých frekvencích než na středních nebo vysokých frekvencích (ČSN 73 0532, 2014; Hellmuth a kol., 2013; Žiaran, 2013a, 2013b). Průchodem přes obvodový plášť budov dochází k utlumování vyšších frekvencí a tím ke zvýraznění nízkých

frekvencí, protože zvukoizolační schopnosti stavebních konstrukcí jsou v oblasti nízkofrekvenčního hluku velmi nízké. Frekvenční závislost vzduchové neprůzvučnosti je patrná z obrázků č. 4a a 4b, na nichž je grafické zpracování frekvenčního spektra akustického signálu nízkofrekvenčního zdroje hluku měřeného současně ve venkovním prostoru obytné stavby (2 m před obvodovým pláštěm objektu) obrázek č. 4a a v chráněném vnitřním prostoru stavby (obytná místnost) obrázek č. 4b.



Obrázek č. 4a. Třetinooktávové frekvenční spektrum hluku naměřené před fasádou objektu (Hellmuth a kol., 2013)

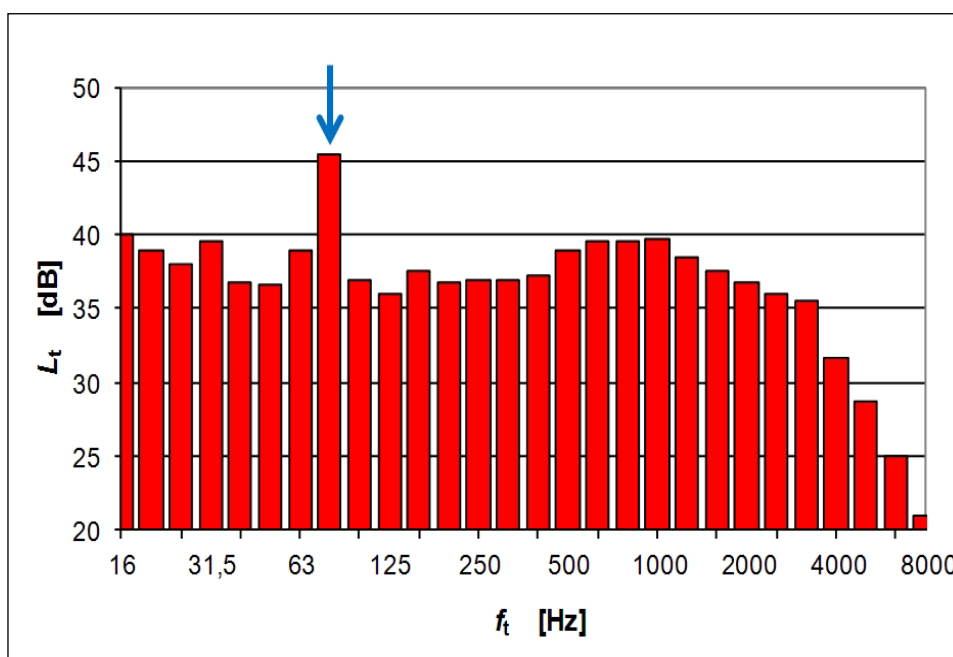


Obrázek č. 4b. Třetinooktávové frekvenční spektrum hluku naměřené uvnitř objektu (Hellmuth a kol., 2013)

Akustické pole v uzavřených místnostech má výraznou prostorovou nehomogenitu a anizotropii, a proto mohou následně vznikat velmi rušivé akustické jevy jako je stojaté vlnění nebo zázněje (rázy). Výsledný akustický signál uvnitř objektu je následně vnímán a stěžujícími si osobami popisován jako nepříjemné a rušivé dunění. Rušivý efekt se ještě zvýrazňuje, je-li amplitudová složka nízkofrekvenčního akustického signálu periodicky modulovaná, ať už přímo zdrojem (zejména bass-beat efekt u techno hudby) nebo v důsledku vzniku záznějí.

Dalším důsledkem frekvenční závislosti vzduchové neprůzvučnosti je, že díky „filtraci“ stavebními konstrukcemi může akustický signál proniklý do vnitřního prostoru získat tónový charakter, i když ho ve venkovním prostoru nemá, což znamená, že stane se hlukem s tónovými složkami. Hluk s tónovými složkami je zvuk, který ve svém frekvenčním spektru obsahuje výrazné (úzkopásmové, resp. diskrétní) složky, které obecně označujeme jako tónové složky. Pro účely ochrany veřejného zdraví je hluk s tónovými složkami definován jednak z hlediska výraznosti frekvenční složky a jednak z hlediska slyšitelnosti. Za hluk s tónovými složkami považujeme hluk, jehož výrazné tónové složky jsou také slyšitelné, což znamená, že na dané frekvenci převyšují hladinu prahu slyšení L_{PS} [dB] (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.). Hluk s tónovými složkami patří k hlukům s výrazně obtěžujícím nebo rušivým charakterem. Tónové složky o vyšších a vysokých frekvencích se projevují jako pískání nebo hvízdání. V případě tónových složek v oblasti nízkých frekvencí pak jako dunění nebo brum.

V nařízení vlády č. 272/2011 Sb. je hluk s tónovými složkami definován jako hluk, v jehož kmitočtovém (frekvenčním) spektru je hladina akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu, případně i ve dvou bezprostředně sousedících třetinooktávových pásmech, o více než 5 dB vyšší než hladiny akustického tlaku v obou sousedních třetinooktávových pásmech. V pásmu kmitočtů 10 Hz až 160 Hz musí být ekvivalentní hladina akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu L_t vyšší než hladina prahu slyšení stanovená pro toto kmitočtové pásmo. Za hluk s tónovými složkami se vždy považuje vždy hudba nebo zpěv. Příklad třetinooktávového frekvenčního spektra hluku s tónovou složkou je znázorněn na obrázku č. 5, kde je tónová složka označena modrou šipkou.



Obrázek č. 5. Třetinooktávové frekvenční spektrum hluku s vyznačenou tónovou složkou (Hellmuth a kol., 2013)

2.3. Zdroje nízkofrekvenčního hluku

Zdroje nízkofrekvenčního hluku je možné rozdělit na přírodní a vznikající činností člověka (Žiaran, 2013a, 2016). Přírodními zdroji nízkofrekvenčního hluku jsou zemětřesení, bouřková činnost, silný vítr, proudění vody ve vodních tocích. Technickými zdroji nízkofrekvenčního hluku jsou nejčastěji vzduchotechnické a klimatizační systémy, kogenerační jednotky, elektrárny, výtopny, trhačí práce při důlní činnosti v lomech, stavebnictví, průmyslové zdroje (velké rotační stroje, vibrační síta, technologie stříhání, tvarování, lisování), turbulentní proudění plynů a kapalin (mycí a sušící linky), zábavní podniky a festivaly (elektroakusticky zesilovaná hudební produkce). V životním prostředí člověka převažuje vliv technických zdrojů nízkofrekvenčního hluku, které vlivem rychlého rozvoje technologií nabyly v posledních desetiletích velkého rozmachu (Žiaran, 2013a, 2013b, 2016).

3. Účinky hluku a nízkofrekvenčního hluku na organismus

3.1. Přímé zdravotní účinky hluku

V tomto případě jde o **přímé zdravotní účinky** dlouhodobé (mnohaleté) expozice hluku působené zejména definovanými technickými zdroji hluku, jakými jsou doprava, stroje a zařízení, u nichž existuje kauzální vztah závislosti expozice-odezva odvozené pro některé subjektivní nebo objektivní účinky. WHO dosud stanovila, že za prokázané zdravotní účinky je považováno vysoké rušení spánku (High Sleep Disturbance-HSD) a kardiovaskulární choroby (KVO), zejména infarkt myokardu a nově i cévní mozkové příhody, a v některých případech i hypertenze (EEA, 2010; WHO, 2011). Zatím co vysoké rušení spánku je založeno především na subjektivním hodnocení pomocí dotazníkových šetření, kardiovaskulární choroby představují objektivní účinek stanovený na základě lékařských diagnóz.

Příslušné závislosti expozice-odezva (Exposure-Response-Functions- ERF) jsou odvozeny na základě rozsáhlých epidemiologických studií a jsou vyjádřeny analyticky (Babisch 2006a, 2008; Report Delta, 2007; Davies, van Kamp, 2012), takže je lze využít pro kvantitativní hodnocení zdravotních rizik expozice hluku uvedených zdrojů v hygienické praxi a následné stanovení odpovídajících hodnot hygienických limitů. A to jak v rámci prevence, tedy v akustických výpočtových studiích před realizací investičního záměru, tak při zdravotním dozoru nejčastěji při řešení stížností.

Důležité je, že u uvedených zdrojů hluku lze s přijatelnou mírou nejistoty za podmínek reprodukovatelnosti a opakovatelnosti stanovit objektivní hodnotu akustické emise (nejčastěji hladinu akustického výkonu). Celý proces hodnocení zdravotních rizik vzhledem k přímým zdravotním účinkům pak může být transparentní a jednoznačný, tedy i přezkoumatelný.

Regulace přímých zdravotních účinků hluku plně náleží prostřednictvím Zákona č. 258/2000 Sb. do kompetence orgánů ochrany veřejného zdraví (KHS), které jako orgány státní správy pro regulaci hluku uvedených zdrojů používají hygienické limity hluku stanovené prováděcím právním předpisem (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.).

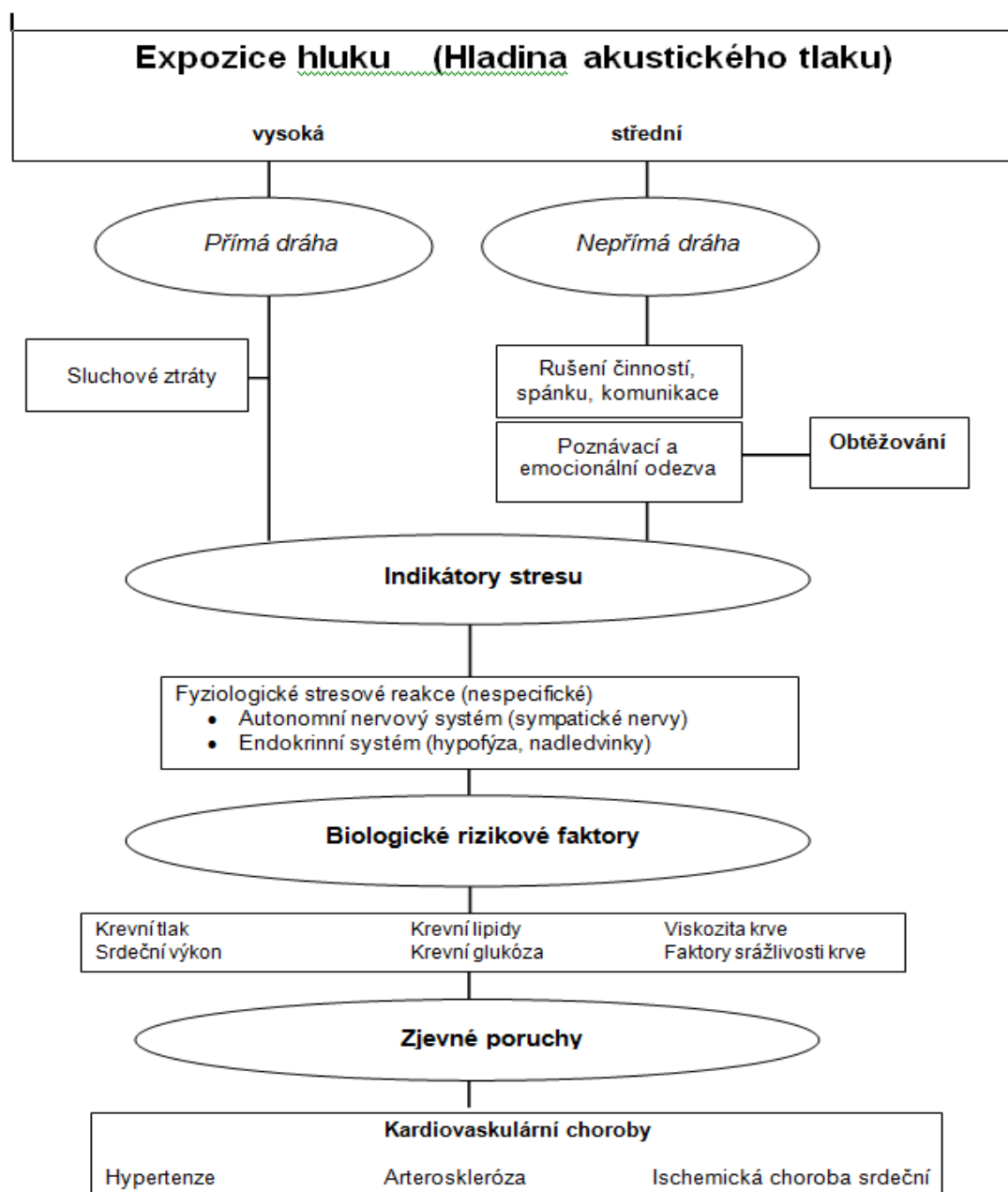
3.2. Nepřímé zdravotní účinky hluku

Obtěžování hlukem (annoyance, nuisance) je nejčastější negativní účinek hluku. Za obtěžování je označován psychický stav, který vzniká při mimovolném vnímání vlivů nebo při podřizování se okolnostem, ke kterým má jedinec zamítavý postoj, protože jej ruší v soukromí, překáží mu ve vykonávání činnosti nebo ovlivňují kvalitu odpočinku. Reakcí na to jsou pocity odporu, podrážděnost a v některých případech psychosomatické poruchy (Ševčíková a kol., 2015). I opakované obtěžování hlukem, které je typické pro ojedinělé nebo krátkodobé expozice hluku, tedy expozice, které se vyskytují pouze během několik málo dní a po omezenou dobu v roce (DEFRA, 2005), nebo hluky z náhodných zdrojů hluku, jakými jsou řeč, zvukové projevy zvířat, sousedské hluky, některé hudební projevy, hluky ze sportovních, kulturních a volnočasových aktivit, může v některých případech vést ke zhoršení celkového zdravotního stavu exponovaných osob. V tomto případě se jedná o **nepřímé zdravotní účinky**, které nelze jednoznačně kvantifikovat. Je to zejména proto, že subjektivní pocit obtěžování exponované osoby závisí z větší části na celkové míře stresu, který vzniká jako výsledek procesu, který na jedné straně hodnotí subjektivní pocit ohrožení a na druhé straně hodnotí osobní potenciál toto ohrožení zvládnout či eliminovat. Obě tyto stránky hodnocení jsou závislé především na osobnostních charakteristikách exponované osoby, socio-ekonomických, kulturních, historických a dalších souvislostech. Jen z menší části (cca 30 %) závisí míra obtěžování na akustických parametrech působícího akustického signálu, kterými jsou hladina akustického tlaku, subjektivní hlasitost působícího zvuku, délka trvání podnětu (Havránek a kol.; 1990, Kroesen M, 2008, Hellmuth a kol., 2016). Přitom závislost subjektivně vnímané hlasitosti na objektivně stanovené hladině akustického tlaku není lineární (Syka a kol., 1981).

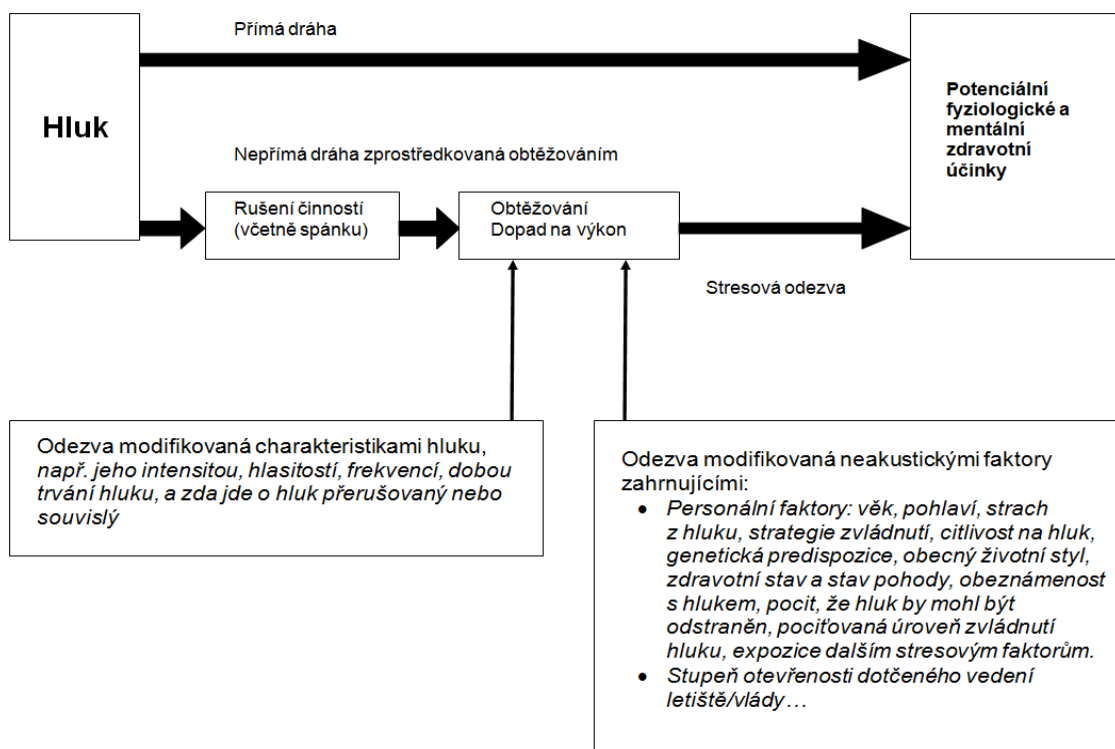
Fenomén subjektivního obtěžování se uplatňuje i při dlouhodobé expozici technickými zdroji hluku, nicméně v tomto případě jsou primárním faktorem přímé zdravotní účinky korelující s celkovou mírou akustické energie, které může pocit subjektivního obtěžování a bezmoci dále potencovat. Avšak vztah celkového obtěžování a přímých zdravotních účinků není dosud dostatečně objasněn (EC-JRC, 2013).

Jak vyplývá ze závěrečné zprávy ENNAH (EC-JRC, 2013), není dosud vědecky prokázáno, zda fenomén celkového obtěžování je důsledek působení hluku na člověka (Babisch, 2004) nebo zda nepřímá dráha ke zhoršenému zdravotnímu stavu je zprostředkována obtěžováním (Jones, 2010) viz obrázek 6a. a 6b. Není ani potvrzena role

individuální citlivosti na hluk s ohledem na vnímání environmentálního hluku a celkové obtěžování. Není objasněn vztah mezi okamžitými účinky hluku a případnými dlouhodobými účinky na zdraví exponovaných osob. Proto WHO dosud nepovažuje celkové obtěžování za zdravotní účinek, ale právě za ukazatel kvality života. Celkové (obecné) obtěžování hlukem lze tedy považovat za určující prvek tzv. „akustického komfortu“ (resp. diskomfortu) a je třeba ho adekvátním způsobem regulovat, avšak nikoliv aplikací právně závazného hygienického limitu hluku.



Obrázek č. 6a. Možný mechanismus zdravotních účinků vyvolaných hlukem
(Modifikováno dle Babisch, 2004)



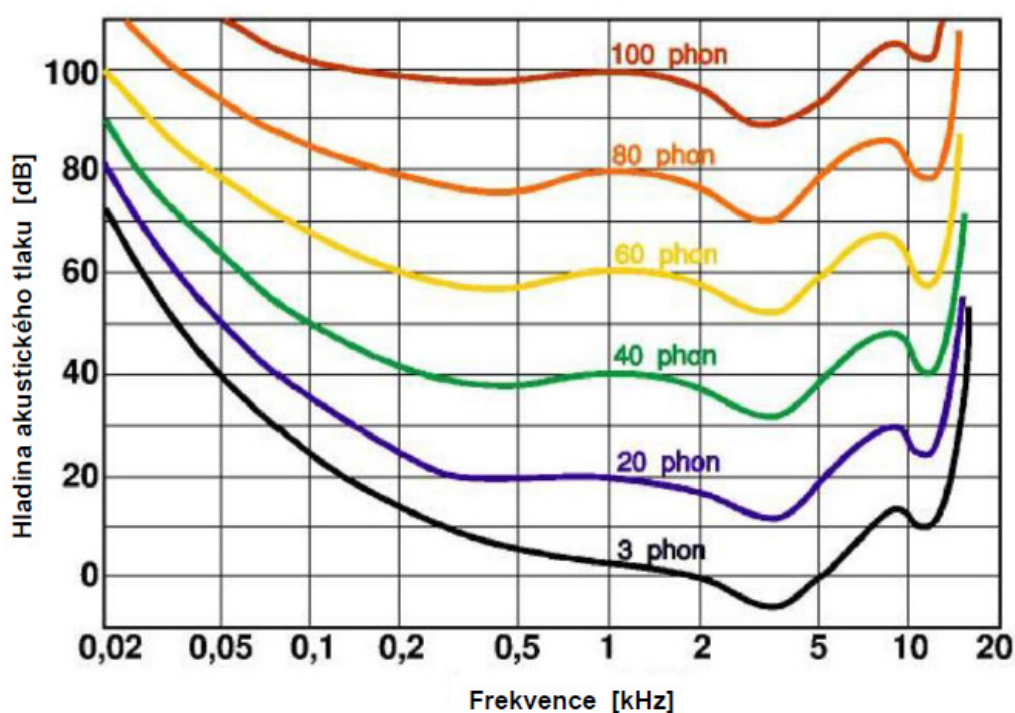
Obrázek č. 6b. Možný mechanismus zdravotních účinků vyvolaných hlukem (Modifikováno dle Jones, 2010)

3.3. Účinky nízkofrekvenčního hluku

Výzkumy ukazují, že vnímání a účinky zvuku při nízkých frekvencích se ve srovnání se středními nebo vysokými frekvencemi značně liší; zvuk je vnímán jako pulzace a fluktuace (zázněje), často i s hmatovými (taktilními) projevy. Hlavní příčinou těchto rozdílů je slábnutí vnímání výšky zvuku, když frekvence zvuku klesá pod 60 Hz a také mnohem strmější zvýšení hlasitosti a obtěžování s růstem hladin akustického tlaku na nízkých frekvencích než na středních nebo vysokých frekvencích („sbíhání“ křivek stejné hlasitosti s klesajícím kmitočtem) viz obrázek č. 7. Křivky stejné hlasitosti, kde phon (fón, Ph) je jednotkou hladiny hlasitosti. Hladinou hlasitosti je nazývána subjektivní hlasitost, která je vnímána sluchem. Hladina hlasitosti je definována tak, že hladina hlasitosti 1 phon je při kmitočtu (frekvenci) 1 kHz stejně velká jako jednotka hladiny zvuku 1 dB. Pro zvuky ostatních kmitočtů jsou hladiny hlasitosti definovány subjektivním porovnáváním s hladinou hlasitosti referenčního tónu (ČSN ISO 1996-1, 2004, 2017). Obsah nízkých frekvencí má vliv na hladinu hlasitosti širokopásmového hluku. Změny hladiny hlasitosti

závisí na tvaru spektra, které je různé pro venkovní a vnitřní prostor v závislosti na izolačních vlastnostech objektů. Zatím co venkovní hladina hlasitosti zůstává konstantní nebo klesá se vzrůstajícím rozdílem hladin vážených křivkou C a A (rozdíl C-A), tak hladina hlasitosti uvnitř se ve velké části spektra zvyšuje se vzrůstajícím rozdílem hladin C-A (Salomons, Janssen, 2011).

Problémem nízkofrekvenčního hluku je skutečnost, že v praxi dochází k případům, kdy stěžující si osoby popisují příznaky této expozice, ale konkrétní zvuk není možné ani nejcitlivější měřicí technikou změřit. Za možné příčiny tohoto stavu jsou považovány rozvoj zvýšené citlivosti pro nízkofrekvenční hluk pro alternativní (nesluchové) receptory na velmi nízkých frekvencích, ale také falešné vnímání způsobené psychickou odolností exponované osoby (Leventall, 2009).



Obrázek č. 7. Křivky stejné hlasitosti (Modifikováno dle https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Powierzchnia_slyszalnosci.svg)

Vzhledem k dlouhým vlnovým délkám lze ve venkovním i uzavřeném vnitřním prostoru obtížně lokalizovat polohu zdroje hluku. Hluk jako by přicházel ze všech stran, což spolu s výskytem sekundárních jevů jako je řinčení okenních a dveřních skleněných výplní,

cinkání skleniček, vlnění vodní hladiny v nádobách, pociťované vibrace částí budov a předmětů může být příčinou silnějšího zatěžování a obtěžování exponovaných osob a může vyvolávat podrážděnost. Jedním z důsledků působení nízkofrekvenčního hluku je stres osob, které jsou tomuto hluku vystaveny (Leventhall, 2003, 2004; Feldmann, Pitten, 2004; Waye et al., 2003; Moorhouse, 2005). Obecně jsou nízké frekvence hůře vnímány ženami, které jsou na nízkofrekvenční hluk více citlivé než muži (Leventhall, 2003, 2005). Populace osob starších 50 let může mít sluchový práh pro nízké frekvence citlivější než průměrný práh (Leventhall, 2004).

Nízkofrekvenční hluk může na lidské tělo působit přímým vyvoláním oscilace (rezonance) vnitřních orgánů, protože rezonanční frekvence různých tkání a orgánů lidského těla leží mezi 2 – 200 Hz. Účinky jsou obecně popisovány tak, že hladiny nízkofrekvenčního hluku a infrazvuku kolem 170 – 180 dB mají smrtící účinky, kolem 160 dB vyvolávají pocit bolesti, kolem 120 – 150 dB působí destruktivně na buněčné struktury. Při hladinách pod 120 dB mohou negativně působit na lidské tělo přímým vyvoláním rezonance vnitřních orgánů, což má za následek pocity bolesti, změnu srdeční a dechové frekvence a následné pocity nevolnosti s negativním odrazem na psychický stav exponovaného člověka. Kolem hladiny 100-130 dB byly pozorovány poruchy rovnováhy a zrakové ostrosti, změny činnosti enzymů v buňkách a změny bioelektrických vlastností tkání, tlak ve středouší. Hladiny kolem 90-100 dB způsobují obecný diskomfort, rozladěnost, bolesti hlavy, únavu, nevolnost a další subjektivně pociťované nepříznivé stavy. Kolem hladiny 92 dB leží práh vnímání pro oblast 16 Hz, přičemž tato hodnota platí pro krátkodobý podnět; při podnětu, který trvá desítky minut se práh slyšení snižuje postupně o 10 a více dB a kolem 80-100 dB se obvykle považují za hladiny neschopné vyvolat závažné zdravotní poškození; ovšem někteří lékaři soudí, že dlouhodobé působení infrazvuku může vyvolat změny funkcí i při těchto úrovních (Leventhall, 2003, 2005).

Ke zvláštnostem vnímání nízkofrekvenčního hluku patří získaná zvýšená citlivost osob, kdy lidé se na tyto frekvence „naladí“ a dokáží nízkofrekvenční hluk identifikovat i při vysokém pozadí širokopásmového hluku, dále pak paměťový efekt („cognitive itch“), kdy lidé mají pocit, že hluk vnímají, pronásleduje a obtěžuje je, i když jsou mimo dosah zdroje hluku nebo když je zdroj mimo provoz, a rovněž výrazná citlivost na fluktuace (Leventhall, 2003, 2005).

4. Monitorování míry neprofesionální expozice hluku

4.1. Měření hlukové expozice

Obecný přístup k měření expozice osob hlukem v komunálním prostředí vychází z poznatků o závislosti dlouhodobých trvalých zdravotních účinků na fyzikálních parametrech působícího akustického signálu. Jak vyplývá z rozsáhlých epidemiologických studií, jejichž závěry jsou shrnuty v dokumentech WHO (Berglund et al., 2000; WHO, 2009), jsou tyto zdravotní účinky, ať již posuzované subjektivně (obtěžování a rušení spánku) nebo objektivně na základě lékařských diagnóz (kardiovaskulární choroby s důrazem na infarkt myokardu) závislé na dlouhodobé, mnohaleté expozici akustické energii vážené frekvenční charakteristikou A . Základní relevantní fyzikální veličinou je ekvivalentní hladina akustického tlaku vážená frekvenční charakteristikou A , $L_{Aeq,T}$, v decibelech (dB). Tato veličina je určujícím ukazatelem hluku a je právně zakotvena v příslušných předpisech (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.). Stanovuje se podle metodického návodu MZ ČR (MZ ČR, 2017) a českých technických norem (ČSN ISO 1996-1, 2004, 2017; ČSN ISO 1996-2, 2009) jako dlouhodobý energetický průměr hladin akustického tlaku A . Ve shodě se směrnicí END (EC, 2002) je míra dlouhodobé expozice stanovena dobou jednoho kalendářního roku. Hygienické limity hluku jsou proto nastaveny pro regulaci dlouhodobé expozice. Při hodnocení vlivu hlukové expozice se dále zohledňují specifické charakteristiky hluku, jako je přítomnost tónových, impulzních a nízkofrekvenčních složek akustického signálu.

Problémem je hodnocení krátkodobých expozic, jako je provoz sezónních zdrojů nebo víceméně pravidelně se opakujících akcí, jako jsou hudební koncerty a mega-produkce ve venkovním prostoru. Dlouhodobý (roční) průměr hladin určujícího ukazatele hluku v tomto případě nevypovídá nic o odezvě exponovaných osob. Vzhledem k tomu, že není dosud dostatečně znám vztah mezi akutními účinky a dlouhodobými účinky hluku na zdraví (EC-JRC, 2013), nelze pro takové expozice stanovit zdravotně odůvodněný hygienický limit hluku, i když tyto expozice mohou být obtěžující. Je však otázka, zda také mají trvalé zdravotní účinky. Byly vypracovány studie (DEFRA, 2005), které se pokoušely nalézt veličinu, která by nejlépe korelovala se subjektivním vjemem rušení a obtěžování při krátkodobých expozicích hudbou typu entertainment music, avšak nedospěly k jednoznačnému závěru. Nicméně, určitá doporučení z nich plynoucí, byla v ČR implementována do „Odborného doporučení pro regulaci expozice hluku z produkce

hudby pořádané ve venkovním prostoru“, které zpracovala NRL a MZ ČR pro Svaz měst a obcí ČR (MZ ČR, 2016).

4.2. Biochemické hodnocení stresové reakce na hlukovou expozici (vybrané ukazatele ve slinách)

4.2.1. Ukazatele ve slinách a jejich použití

Užití slinných parametrů jako monitorovacího nástroje v posledních desetiletích významně expandovalo (Koh et al., 2007; Adam et al., 2009; Šimůnková a kol., 2009a, 2009b). Sliny jako biologický materiál se stávají vhodným diagnostickým a prognostickým ukazatelem a běžnou rutinní záležitostí (Granger, 2000). Jsou více zkoumané medicínou, farmakologií, zubním lékařstvím a ve větší míře i molekulární diagnostikou, pracovním lékařstvím, psychobiologií (Grossi et al., 2005). Jsou obrazem neuroendokrinního a imunologického stavu organismu. Autonomní nervový systém reguluje proces slinění a hladiny ostatních slinných komponentů, jako např. α -amylázy a tím umožňuje měření akutní stresové odpovědi (Hellhammer et al., 2009). Proto se stále častěji objevuje snaha objektivizovat stres i za pomoci biochemické analýzy slin (Nater, et al., 2005, 2006a, 2006b; Nater, Rohleder 2009; Rohleder et al., 2006; Strahler et al., 2010; Rashkova MR et al., 2012; Aschbacher et al., 2013; Engert et al., 2013).

Mezi základní ukazatele, které jsou často spojovány se stresem a stresovou odpovědí, se řadí kortizol v rámci chronického stresu a α -amyláza při akutním stresu. Kortizol, jako stresový hormon, je nejčastěji vyšetřovaným hormonem ve slinách (Šimůnková a kol., 2009a, Anisman et al., 2001, Koh, Koh, 2007, Susoliakova et al., 2014).

4.2.2. Ukazatele ve slinách a expozice hluku

Laterální amygdala je důležitou součástí podkorového sluchového systému. Její úzká vazba na hypothalamus jako hlavní řídicí systém autonomního nervového systému je důležitá pro bezprostřední vliv hluku na člověka. Proto přes trvale aktivní sluchový systém působí hluk jako hlavní stresor životního prostředí a může být příčinou uvolňování hypothalamických hormonů jako je CRH (hypothalamický kortikotropin spouštějící hormon), následně hypofyzární ACTH (adrenokortikotropní hormon) a konečně kortizol (Spreng, 2000).

Technický pokrok v laboratorních metodách významně přispěl k vývoji v oblasti metodiky měření kortizolu ve slinách jako indikátoru stresu v epidemiologických studiích, což vedlo k návrhu, aby výzkum zdravotních důsledků hlukové expozice zahrnoval měření hladin slinného kortizolu (zejména změn ranního vzestupu během 45 minut po probuzení) jako citlivého ukazatele kumulativního stresu a zatížení zapříčiněného nepříznivými životními situacemi (alostatické zatížení) (Kirschbaum, Hellhammer, 1999; Wust et al., 2000a, 2000b).

4.2.3. Ukazatele ve slinách a expozice hudbou

Ve většině publikovaných prací je hudba používána nikoliv jako zdroj hluku vyvolávající stresovou reakci, ale jako nástroj pro možnou redukci stresu (Khalfa et al., 2003; Labbé et al., 2007; Suda et al., 2008; Toyoshima et al., 2011; Chanda, Levitin, 2013). Některé studie prokázaly, že určitá hudba má příznivé účinky na lidské tělo a pozitivně ovlivňuje nejen fyziologické funkce, ale i kognitivní a emocionální procesy (Blood, Zatorre, 2001; Hodges, 2010; Thoma et al., 2013). Často jsou citovány studie zabývající se „Mozartovým efektem“, které uvádějí efekt poslechu Mozartovy hudby na zlepšení prostorového uvažování (Smith et al., 2010), avšak v žádné z nich nebyly zkoumány slinné ukazatele.

Další skupinou jsou studie zabývající se zkoumáním účinků hlasité hudební produkce na posluchače ve smyslu zkoumání účinků dobrovolné expozice přímých účastníků hudebních produkcí – koncertů, festivalů. V těchto studiích byl zkoumán efekt posunutí sluchového prahu, případně detekce časných sluchových ztrát a určení a stanovení vztahu mezi rizikem sluchových ztrát a účastí na hudebních produkcích, nikoliv slinné ukazatele (Mercier et al., 2003; Serra et al., 2005, 2014; Morata, 2007; Ryberg JB, 2009; Müller et al., 2010). Je prokázáno, že osoby, které navštěvují festivalové a koncertní akce jsou vystaveny poměrně vysokému riziku expozice škodlivým hladinám akustického tlaku, které přesahovaly i 100 dB (Ryberg, 2009; Tronstad, Gelderblom, 2016; Gjestland, Tronstad, 2017), přičemž mladí lidé ani nevyžadují tak hlasitou hudební produkci, jako je na těchto akcích produkována (Mercier, Hohmann, 2002).

Početná je skupina studií zaměřených na zkoumání expozice mladých lidí z poslechu hudby prostřednictvím osobních hudebních přehrávačů (PLD, portable listening device), protože expozice hlukem z PLD je poměrně rozšířena – řádově miliony osob dlouhodobě používají PLD, přičemž hlasitost některých PLD může dosahovat více jak 89 dB

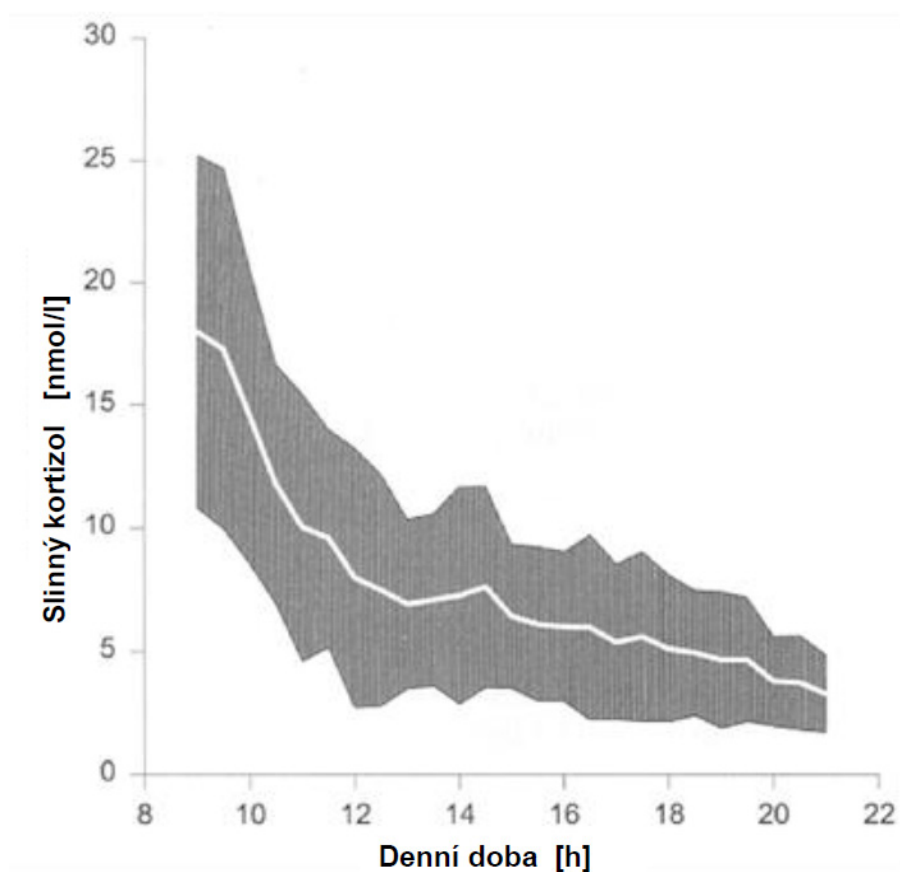
(Ševčíková et al., 2015). V těchto studiích je zkoumán vliv používání PLD se zaměřením na prevenci sluchových ztrát vyvolaných touto expozicí (Argalášová et al., 2015a, 2015b). Byly nalezeny rozdíly u různých etnických skupin v délce poslechu hudby a zvolené hlasitosti, resp. rozdíly v používání PLD (Levey et al., 2013). Starší studie uváděly, že při porovnání expozice hluku je z hlediska veřejného zdraví používání PLD mnohem menším rizikem pro sluchový aparát než návštěvy nočních klubů či diskoték (Smith et al., 2000). Ani v takto zaměřených studiích však nebyly použity jako indikátory slinné ukazatele.

Nejvíce studií, ve kterých byl zkoumán vliv poslechu hudby na zmírnění či eliminaci stresu prostřednictvím změn koncentrací slinných ukazatelů, bylo provedeno jako klinické studie v souvislosti s lékařskými zákroky (Uedo et al., 2004; Nilsson et al., 2005; Ventura et al., 2011).

4.2.4. Slinný kortizol

Kortizol, chemicky $C_{21}H_{30}O_5$, (11,17,21-trihydroxy-, [11 β]-pregn-4-en-3,20-dion) je hormon steroidní povahy ze skupiny glukokortikoidů (má účinky především v oblasti metabolismu sacharidů), který je produkován kůrou nadledvin. Sekrece kortizolu je řízena cestou „hypotalamus→ hypofýza (ACTH)→ kůra nadledvin“ (Bálková, 2001).

Kortizol má široké spektrum účinků a je často charakterizován jako "stresový hormon". Hladiny kortizolu má denní průběh (cirkadiánní rytmus). Nejvyšší hladiny jsou po probuzení (dosažení maximální hladiny je přibližně půl hodiny po probuzení) a po zbytek dne pomalu postupně klesají (Wust et al., 2000a, 2000b; Kirschbaum, Hellhammer, 2000; Adam et al., 2001; Bálková, 2001; Clow et al., 2004; Wilhelm et al., 2007). Večerní hladina je v porovnání s ranní špičkovou hladinou asi poloviční (Bálková, 2001). Tento přirozený cirkadiánní cyklus je ovlivněn životním stylem a každodenními stresory. Typický, normální denní průběh křivky je spojen s velkým klesáním. Cirkadiánní rytmus slinného kortizolu je na obrázku č. 8, na kterém jsou zobrazeny normální hladiny slinného kortizolu v průběhu dne, kde je bílou křivkou vyznačena průměrná hladina kortizolu a šedá plocha reprezentuje oblast, ve které se nachází 68 % naměřených dat a odpovídá jedné směrodatné odchylce.

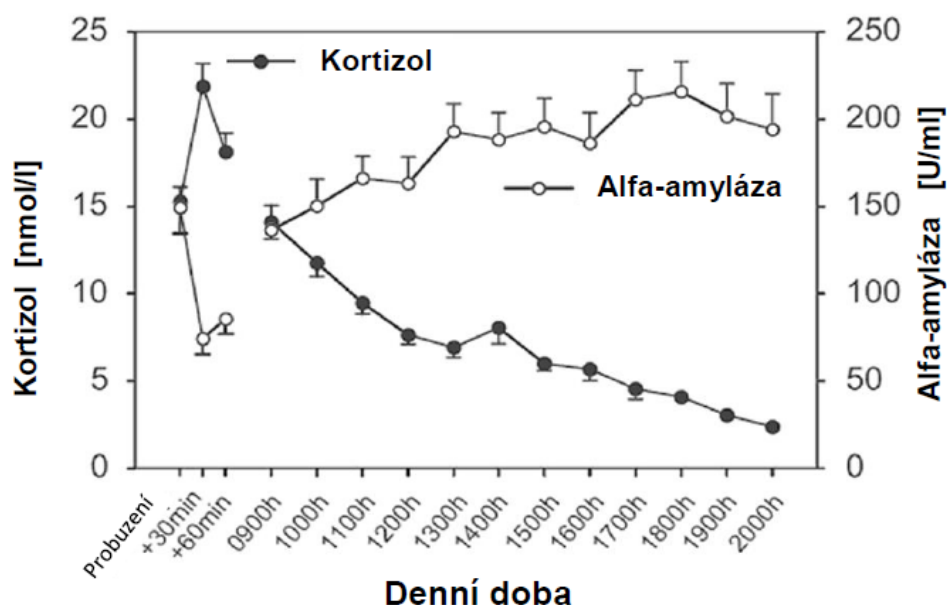


Obrázek č. 8. Cirkadiánní rytmus slinného kortizolu (Modifikováno dle Kirschbaum, Hellhammer, 2000)

4.2.5. Slinná α -amyláza

α -amyláza (ptyalin), chemicky alfa-1,4glukan-4-glukan-hydroláza, je trávicí enzym patřící mezi hydrolázy, který se v organismu vyskytuje ve dvou formách, a to jako pankreatická a slinná. Komplexní metabolismus α -amylázy dosud není objasněn. Pankreatická α -amyláza je součástí pankreatické šťávy a do žaludku a dvanáctníku se dostává společně s dalšími trávicími enzymy, kde se podílí na dalším štěpení cukrů. Jako slinná α -amyláza se označují všechny ostatní nepankreatické zdroje α -amylázy, zejména slinné průušní žlázy, aj. Již při styku s potravou v dutině ústní začíná štěpit škrob a složené sacharidy (polysacharidy). Slinná α -amyláza tvoří až 60 % z celkové α -amylázy.

Na rozdíl od hladin kortizolu jsou u α -amylázy nejnižší hladiny v ranních hodinách a nejvyšší v odpoledních hodinách (Li, Gleeson, 2004; Rohleder et al., 2004; Koh, Koh, 2007; Nater et al., 2007) viz obrázek č. 9.



Obrázek č. 9. Denní průběh koncentrací slinného kortizolu a slinné α -amylázy (Modifikováno dle Nater et al., 2007)

4.2.6. Výhody a omezení odběrů slin a stanovení hladin ukazatelů ve slinách

Mezi nejčastěji používané slinné ukazatele ve výzkumu stresu a stresové odpovědi patří hormony (slinný kortizol), enzymy (slinná α -amyláza a chromogranin A) a imunitní složky (IgA) (Šušoliaková a kol., 2011). Mezi významné výhody použití slinných ukazatelů jednoduchý a neinvazivní odběr, při kterém se neuplatňuje stresový faktor venepunkce a menší riziko přenosu infekce. Odběr je možný i v domácím prostředí, je možné jej realizovat v jakoukoliv hodinu a je snadné jej v průběhu dne opakovat, čímž stoupá ochota respondentů se experimentu účastnit (Šimůnková a kol., 2009a; Wood, 2009). K výhodám patří též skutečnost, že hladina volného kortizolu ve slinách koreluje s hladinami kortizolu v krvi a je nezávislá na slinotoku. Slinný materiál je možné skladovat delší dobu, aniž by došlo ke změně koncentrací způsobené bakteriemi ústní dutiny (až 5 dní při teplotě 2 až 5 °C; po centrifugaci až 1 rok při teplotách –20 °C až –80 °C) a vzorky nevyžadují před analýzou předúpravu (Šimůnková a kol., 2009a; Wood, 2009).

K omezením se řadí absorpce hormonů a enzymů na odběrový materiál, výrazná fluktuace jejich hladin vlivem vnějších podnětů a nedodržování předepsaných časů odběrů u osob v domácím prostředí (Šimůnková a kol., 2009a; Wood, 2009). Další nevýhodou je nedostupnost referenčních hodnot ve vztahu k pohlaví, věku a nízká úroveň standardizace metodik (Šimůnková a kol., 2009a, 2009b; Wood, 2009).

4.3. Odolnost osob vůči stresové reakci na hlukovou expozici

Obecně užívaný pojem „stres“ v sobě skrývá jak odpověď organismu (stresovou reakci), tak i označení stresoru (faktoru, který stresovou situaci vyvolává). Místo dříve používaného pojmu „obecný adaptační syndrom“ se v současné době používá termín „stresový syndrom“, kdy bezprostřední reakcí na daný stresor je akutní (poplachová) reakce, při které dochází k řadě neurohumorálních, funkčních a metabolických změn připravujících organismus pro boj či útěk. Stresová reakce organismu je složena z řady specifických stresových odpovědí (Bartůňková, 2010). Z psychologického hlediska jsou stres a zátěžová situace momenty, které často vyvolávají soubor závažných procesů, které obecně nazýváme psychosociální stres. Pro charakterizaci stresové situace má zásadní význam poměr mezi mírou (intenzitou, velikostí) stresogenní situace (stresoru či stresorů) a schopnostmi (možnostmi, silou) organismu danou situaci zvládnout. O stresové situaci potom hovoříme v situacích, kdy míra intenzity stresogenní situace je vyšší než schopnost či možnost daného člověka tuto situaci zvládnout, přičemž může působit pouze jeden stresor nebo souhra několika stresorů (Křivohlavý, 2001). Hluk patří mezi stresogenní faktory a interindividuální variabilita biochemické formy stresové odpovědi exponovaných osob přímo souvisí s jejich schopností stresový podnět zvládnout (odolnost/nezdolnost).

Osobní nezdolnost typu S.O.C. (dotazník)

Vhodným nástrojem pro hodnocení odolnosti vůči stresové reakci na hlukovou expozici je dotazník osobní nezdolnosti, který byl použit v prezentované studii. Základním pojmem nezdolnosti je smysl pro integritu (Sense Of Coherence, S.O.C.), rys soudržnosti osobnosti. Jedná se o vnitřní „ucelenost“ osobnosti člověka, jejímž opakem může být nejednotnost osobnosti, nepevnost (Křivohlavý, 1990, 2001). Člověk vykazující pevnou vnitřní jednotu, žijící v soudržné skupině jedinců, snáze vzdoruje životním zkouškám. Integrita osobnosti je diskutována jako jeden z parametrů duševního zdraví a koherence osobnosti jako souvztažnost všech procesů a vlastností v jednotlivci. Zdravá vnitřní rovnováha umožňuje pružnost myšlení a jednání, a je také pokládána za jedno z kritérií duševního zdraví (Míček 1970a). Psychická odolnost je vícerozměrný multifaktoriálně podmíněný jev. Na odolnost je vhodné pohlížet jako na množinu, která sestává z osobnostně, sociálně a somaticky založených zdrojů, z nichž některé jsou pro odolnost ústřední, některé spíše okrajové a některé současně patří do jiných psychologických konstruktů (Kebza, Šolcová, 2008). Zkoumání nezdolnosti a jejího nedostatku v osobnosti patří v současné psychologii k

aktuálním tématům. Neméně důležité je zkoumat souvislost nezdolnosti s dalšími osobnostními charakteristikami a podmínkami jejího formování a působení. V prezentované studii vycházíme z pojetí nezdolnosti podle Aarona Antonovského, který se ve svých výzkumech zabýval nezdolností dospělých osob (Antonovsky, 1985a, 1985b, 1987, 1993).

Zásahový test

V prezentované studii byl také použit zásahový test, jehož účelem bylo zjistit, zda expozice může mít negativní vliv na následné soustředění účastníků. Tento elektromechanický test byl vyvinut na Fakultě vojenského zdravotnictví, University obrany Hradec Králové (FVZ UO) jako jeden z nástrojů posouzení vlivu různých zátěží v rámci činností vojenského personálu. Test spočívá v zasahování postupně 4 kontaktů umístěných v rozích obdélníku kovovým stylusem. Zásahy jsou vyhodnocovány elektromechanicky. Posuzuje se množství a poměr správných a nesprávných zásahů za stanovený čas před, v průběhu (v polovině expozice) a po ukončení zátěže (expozice). Předností testu je jeho snadná ovladatelnost a spolehlivost, což bylo výhodné zejména pro starší účastníky studie. Literární odkaz týkající se výsledků a hodnocení použití tohoto testu se nepodařilo dohledat, protože dle sdělení FVZ UO se jednalo o nepublikované výsledky, které byly součástí interních zpráv určených pouze pro vojenské účely a jsou pro civilisty nedostupné. Porovnání s publikovanými výsledky je tak obtížné. S tímto vědomím byl zásahový test použit pouze jako vedlejší doprovodný zdroj možných informací. V současné době je pro sledování psychické zátěže hlukem a změn soustředění využívána dotazníková metoda, která je aplikována zejména ve studiích zaměřených na sledování zátěže zdravotnického personálu (Ratnapalan et al., 2011; Folscher et al., 2015). Dotazníkovou metodu založenou na plnění úloh jsme však nechtěli použít s ohledem na opakovanou aplikaci testu (před expozicí, v její polovině a po ukončení), vyšší věk respondentů a očekávanou zátěž vysokými hladinami hluku.

5. Regulace hlukové expozice

5.1. Základní přístupy k regulaci hluku

Při snižování a řízení hluku v komunálním prostředí je nutné brát v úvahu dvě kategorie vlivů hluku na člověka. První kategorii tvoří objektivní vliv na fyzické a duševní zdraví. Druhou potom subjektivní vlivy vztahující se k emocionálnímu, sociálnímu a fyzickému pocitu pohody (ke kvalitě života). Hluk obou kategorií musí být v životním prostředí člověka regulován. Otázkou je přitom vhodnost regulátoru a odpovídajících nástrojů, a to jak z hlediska odborného, tak i z hlediska právního.

5.2. Legislativní regulace hluku v ČR

Ochrana zdraví před nepříznivými účinky hluku v mimopracovním (komunálním) prostředí je v ČR zajištěna Zákonem č. 258/2000 Sb. a prováděcím právním předpisem, ve kterém jsou stanoveny hygienické limity hluku a tím je Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Hygienické limity hluku jsou stanoveny zejména na základě prokázaných kvantitativních vztahů mezi expozicí a odezvou organismu pro dlouhodobé zdravotní účinky, které jsou důsledkem trvalé dlouhodobé, několikaleté, expozice (WHO, 2009). Do této kategorie patří hluk ze všech druhů dopravy, hluk z průmyslových zdrojů a dalších technických stacionárních zdrojů hluku.

Vztahy mezi krátkodobými obtěžujícími expozicemi a dlouhodobými zdravotními účinky nebyly dosud zjištěny, a proto pro ně zatím nelze stanovit zdravotně odůvodněné hygienické limity hluku (WHO, 2009; EC-JRC, 2013). Do této kategorie patří zejména ojedinělé nebo krátkodobé expozice a expozice náhodným hlukům, jako jsou hudební open-air festivaly, hlasy lidí a zvířat, kulturní, společenské a sportovní akce, hluk z volnočasových aktivit, sousedský hluk.

5.3. Hygienické limity hluku a jejich stanovování

Hygienické limity hluku jsou obecně kompromisem mezi zdravotními a socio-ekonomickými požadavky a možnostmi společnosti. Evropská unie proto nechává stanovení hygienických limitů na jednotlivých členských státech a jejich možnostech, kulturních zvyklostech a dalších socio-ekonomických faktorech (Berglund et al., 2000).

V případě nízkofrekvenčního hluku však evropské země ani USA nemají zaveden závazný limit pro komunální prostředí a není k dispozici ani doporučení WHO, protože stanovení limitních hodnot nízkofrekvenčního hluku v životním prostředí člověka je velmi obtížné. Je stále omezené množství odborných podkladů, na jejichž základě by se expozice nízkofrekvenčním hlukem dala regulovat prostřednictvím doporučeného limitu. Dopady expozice nízkofrekvenčního hluku na zdraví lidí, zejména v kombinaci s tónovou složkou, nejsou dosud plně prozkoumány, proto ani v NV č. 272/2011 Sb. není hygienický limit dosud stanoven. Stávající systém měření a hodnocení hluku v komunálním prostředí v ČR, založený na korekci širokopásmových určujících ukazatelů hluku, podceňuje nepříznivé působení nízkofrekvenčního hluku na člověka a neumožňuje objektivně hodnotit jeho extrémní rušivost. Proto je vhodné hledat možnosti objektivního hodnocení neprofesionální expozice nízkofrekvenčním hlukem, které by mohly být základem pro jeho regulaci.

Z oblasti výzkumu působení nízkofrekvenčního hluku na člověka (Leventhall, 2003, Moorhouse, 2005) vyplynulo, že jedním z důsledků působení tohoto typu hluku je stres osob. Dosud provedené výzkumy vycházely z metody dotazníkového šetření s využitím dotazníků speciálně připravených pro výzkum subjektivního vlivu nízkofrekvenčního hluku (Leventhall, 2005). Je tedy nasnadě otázka, zda je možné subjektivní vjemy (obtěžování), které vedou ke stresové reakci člověka objektivizovat. Z hygienické praxe vyplynulo, že účinky obtěžování a rušení vyvolané nízkofrekvenčním hlukem s tónovou složkou je možné dobře zkoumat na případech expozice venkovní elektroakusticky zesilovanou hudební produkcí, vzhledem k dostupnosti zdroje hluku a velkému počtu exponovaných osob.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – METODIKA

6. Monitorování neprofesionální hlukové expozice v terénu

Údaje o úrovni neprofesionální expozice z vybraných hudebních zdrojů byly získány v rámci státního zdravotního dozoru a metodické a referenční činnosti Národní referenční laboratoře pro komunální hluk (NRL), kde pracuji. Většinu měření a vyhodnocení provedli pracovníci NRL ve spolupráci s pracovníky akreditované laboratoře Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě a pracovníky akreditované laboratoře Zdravotního ústavu se sídlem v Ústí nad Labem. Část výsledků byla převzata z protokolů měření, poskytnutých pro účely výzkumné činnosti NRL oslovenými Krajskými hygienickými stanicemi v rámci dozorové metodické činnosti a celorepublikové působnosti NRL (akce, které neměřila NRL jsou v tabulce č. 2 označeny hvězdičkou). Metody měření hluku pro účely ochrany veřejného zdraví, na které jsou všechny výše uvedené laboratoře akreditovány, uvádí metodický návod MZ ČR (MZ ČR, 2001, 2017). Osobně jsem se podílela na získání a vyhodnocení většiny dat uvedených v tabulce č. 2. Data byla pro účely této práce použita se souhlasem KHS a je možné je získat i na základě žádosti dle zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím.

K měření hluku v komunálním prostředí byly použity měřicí přístroje (zvukoměry) třídy 1 vyhovující požadavkům ČSN EN 61672-1. Zvukoměry specifikované v této normě jsou určeny obecně k měření zvuků v rozsahu slyšení člověka. Při frekvenční analýze se používají pásmové filtry třídy 1, které splňují požadavky ČSN EN 61260-1. Všechny zvukoměry měly platná metrologická ověření a byly provozně kalibrovány. Pokud to situace umožňovala, byla měření provedena přednostně v chráněném venkovním prostoru staveb ve vzdálenosti 0,5 až 2,0 m před fasádami posuzovaných exponovaných objektů, nebylo-li to možné, pak ve volném poli. Mikrofony byly orientovány směrem ke zdroji hluku. Měření byly hodnoty určujících ukazatelů hluku včetně jejich statistického rozdělení a frekvenčního spektra. Okamžité hodnoty byly ukládány do paměti přístroje a následně vyhodnocovány v laboratoři při počítačovém postprocesingu. Během měření byly zaznamenávány a označovány všechny akustické události, které nesouvisely s měřeným zdrojem hluku, a které byly součástí tzv. hluku pozadí. Tyto události byly v rámci postprocesingu z měření vylučovány. Naměřené hodnoty byly přepočítávány na referenční podmínky provozu zdroje, volného pole a odstupu od pozadí použitím

příslušných korekcí podle metodického návodu (MZ ČR, 2001). Doba a časový interval měření byly voleny tak, aby byly zachyceny všechny rozhodující akustické události působné měřeným zdrojem hluku a měřené vzorky byly reprezentativní z hlediska dlouhodobé zátěže. Měření probíhala za vyhovujících meteorologických podmínek v souladu s Metodickým návodem MZ ČR (MZ ČR, 2001). Výsledkem měření byla výsledná hodnota určujícího ukazatele hluku včetně přidružené nejistoty měření. Takto stanovená výsledná hodnota určujícího ukazatele hluku se pak může porovnávat se stanoveným hygienickým limitem ve shodě s platným právním předpisem (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.).

7. Experimentální hluková studie

7.1. Modelová expozice nízkofrekvenčnímu hluku

Experimentální hluková expozice pro studii byla realizována v objektu laboratoří Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě, na pracovišti NRL v Ústí nad Orlicí. Jako zdroj hluku pro expozici byla použita reprodukováná disko hudba s parametry odpovídajícími charakteristikám akustického signálu s parametry nízkofrekvenčního hluku. Nahrávka hudební produkce (disko hudby) byla sestavena a upravena tak, aby její akustické parametry co nejvíce odpovídaly parametrům akustického signálu, kterému jsou v terénu vystaveni lidé při nedobrovolné expozici hlukem z hudebních produkcí. U použitého akustického signálu byla akustická energie převážně v oblasti nízkých frekvencí a rozdíl hladin hluku vážených filtrem C a A ($L_{\text{Ceq},T} - L_{\text{Aeq},T}$) byl cca 20 dB, signál obsahoval periodicky proměnnou tónovou složku a záznam obsahoval i pasáže se zpěvem. V části záznamu se současně prolínaly různé hudební produkce s cílem nasimulovat souběh hudebních produkcí na různých pódíích, k čemuž standardně v rámci festivalů dochází. Přímí účastníci koncertů (posluchači) tak vzhledem k nastavení hudebních aparatur vnímají pouze produkci, již se konkrétně účastní, zatímco nepřímí účastníci (osoby v obytné zástavbě) jsou vystaveni zvuku z areálu jako celku.

7.2. Účastníci experimentální hlukové studie

Na základě zkušeností z hygienické praxe získaných při šetření a řešení stížností obyvatel na nízkofrekvenční hluk, bylo snahou získat k účasti co nejvíce osob ve věkové kategorii

nad 60 let, protože od osob z této věkové kategorie přichází nejvíce podnětů a také z toho důvodu, že starší lidé jsou společně s dětmi, chronicky nemocnými, lidmi se sluchovým postižením a osobami s duševním onemocněním považováni za ohrožené (citlivé) skupiny, pro které mohou být některé expozice hlukem závažnější (Berglund et al., 2000; WHO, 2011; Leventhall, 2004; Davies, van Kamp, 2012; van Kamp, Davies, 2013).

Výběr osob pro studii byl proveden záměrným výběrem. Studie se zúčastnilo celkem 100 dospělých osob, dobrovolníků ve věku 18 až 79 let (37 mužů a 63 žen). Obecné informace o participantech byly získány pomocí dotazníku (viz kapitola Výsledky). Do studie byly zařazeny pouze osoby s věkem nad 18 let bez zjevných známek akutního onemocnění (teplota, kašel, rýma, akutní bolesti různého původu). Byly vyloučeny těhotné ženy, osoby s poruchami sluchového aparátu, osoby s kardiostimulátorem, s diabetem či jiným endokrinologickým onemocněním a osoby užívající antidepresiva a léky na bázi kortikoidů. Žádný z respondentů nepracoval v hlučném pracovním prostředí. Vzhledem k tomu, že věk většiny vybraných osob byl vyšší než 50 let, nebylo možné zcela vyloučit osoby léčící se s hypertenzí a kardiovaskulárními onemocněními (výjimkou byly osoby s kardiostimulátorem).

Každý potenciální účastník (celkem bylo osloveno cca 150 osob) byl předem na schůzce seznámen se zaměřením, cílem a základním obsahem studie. Během informačního rozhovoru mu byla podrobně popsána expozice hluku, kterému bude vystaven (délka expozice, typ použitého hluku a jeho hlasitost) a základní pravidla pro odběr vzorků slin. Řada potenciálních participantů v této fázi účast ve studii odmítla. Jako důvod odmítnutí byly udávány nejčastěji nepříjemné pocity při intenzivní hudební expozici, bolesti hlavy či vomitus, vyvolaný tamponem v ústech při odběrech slin.

Všechny osoby, které splňovaly kritéria a souhlasily se svojí účastí, vyplnily a podepsaly Informovaný souhlas s účastí ve studii (viz příloha č. 1). Účastník si vybral z nabídnutých termínů den a hodinu pro expozici, obdržel označenou odběrovou zkumavku Salivette Cortisol pro svůj ranní odběr vzorku slin a podrobné písemné informace, které zahrnovaly poučení o chování před odběry slin a v průběhu celého dne, kdy bude zapojen do studie. Bylo zakázáno kouření, žvýkání žvýkaček, konzumace alkoholu a bylo doporučeno se vyhýbat nadměrné fyzické i psychické zátěži. Informace zahrnovaly též pokyny ke správnému odběru vzorků slin (bez čištění zubů před odběrem slin, vypláchnutí úst čistou vodou), pokyny k zapisování informací a údajů do odběrového listu pro expoziční den (čas

odběru vzorků doma, aplikované léky, počet případně vykouřených cigaret, množství případné konzumace alkoholu, délka případného fyzického cvičení, informace a emocionální stavu, což zahrnovalo sdělení, zda se v den expozice cítili dobře, či zda je něco vyvedlo z rovnováhy a klidu, rozladilo, rozčílilo), pokyny uchování odebraného ranního a večerního vzorku slin doma v chladničce.

Vyplněný odběrový list (příloha č. 2) odevzdal účastník na pracoviště NRL většinou hned následující den po expozičním dnu současně s odběrovou zkumavkou s večerním vzorkem slin. Účastníci neměli svou účast ve studii spojenou s žádným finančním benefitem, účast byla pouze na jejich ochotě a vstřícnosti.

7.3. Struktura experimentální hlukové studie

Účastníci studie byli exponováni v zasedací místnosti ZUOVA, pracoviště NRL v Ústí nad Orlicí. Místnost má rozměry 4,8 x 7,4 x 2,7m (plocha 35,5 m²) a odpovídá velikosti standardního obývacího pokoje v podmínkách běžné bytové výstavby v ČR. Místnost je vybavena kobercem, nábytkem a textilními žaluziemi, na stěnách jsou plakáty. V tomto interiéru bylo postupně (individuálně) exponováno 100 účastníků studie. Doba experimentální expozice hudební produkcí byla 30 minut (Obr. 9).

Účastníci přicházeli individuálně do objektu pracoviště NRL, a to 15 minut před domluvenou hodinou expozice. Většina interiér dobře znala, protože se jednalo o bývalé zaměstnance ZUOVA nebo rodinné příslušníky zaměstnanců, pro některé se jednalo o první návštěvu pracoviště NRL. Většina účastníků znala objekt zvenčí, protože je umístěn v blízkosti parku mezi dvěma největšími sídlišti a přilehlé zahrádkářské kolonie. Bezprostředně po příchodu byl účastník v zasedací místnosti usazen na židli, na níž později absolvoval expozici, aby měl možnost se již v tomto prostoru adaptovat. Byl od něj převzat ranní vzorek slin a byl proveden krátký vstupní pohovor týkající se zjištění aktuálního zdravotního stavu a celkové nálady. Do studie byli přijati v den expozice pouze respondenti bez zjevných akutních známek onemocnění (teplota, kašel, rýma) a neužívající antibiotika.

Poté byla účastníkovi na paži nasazena manžeta na měření krevního tlaku (viz obrázek č. 10) a na ušní lalůček nasazen snímač tepové frekvence (viz obrázek č. 11) a ozkoušena funkčnost přístrojů. Účastník byl informován, že po celou dobu expozice bude v jeho blízkosti sedět pracovník ZUOVA, který bude průběh expozice včetně reakcí účastníka

sledovat, a pokud bude chtít z jakéhokoliv důvodu expozici ukončit před uplynutím doby expozice, postačí pouze pozvednout ruku a expozice bude okamžitě ukončena.



Obrázek č. 9. Modelový interiér pro experimentální hlukovou studii



Obrázek č. 10. Přístroj Boso na měření krevního tlaku



Obrázek č. 11. Snímač tepové frekvence Kettler sport

Účastník byl požádán o odložení hodinek na místo, aby na ně neviděl, a tudíž neměl přehled o tom, jak dlouho ještě zbývá do konce expozice. Bezprostředně před spuštěním hudební nahrávky byl účastník znovu upozorněn, že se jedná o hlasitou hudbu, aby bylo zabráněno úlekové reakci při spuštění reprodukce. Studie byla schválena Etickou komisí Zdravotního ústavu v Ostravě již v rámci žádosti o grant IGA MZ (příloha č. 3).

U všech expozic účastníků studie byla po celou dobu expozice sledována kvalita akustického signálu (jeho parametry) zvukoměrem B&K 2250 (obrázek č. 12), čímž byla zajištěna kontrola, že všech 100 osob bylo v rámci studie exponováno akustickým signálem stejné kvality. Referenční mikrofón byl umístěn ve výšce hlavy sedící osoby (obrázek č. 13).



Obrázek č. 12. Měřicí technika použitá pro sledování kvality akustického signálu –
zvukoměr Brüel & Kjaer 2250, Dánsko



Obrázek č. 13. Hluková expozice participanta studie. Na stativu je referenční mikrofon.

7.4. Biochemické, fyziologické a psychologické ukazatele reakce organismu na expozici nízkofrekvenčnímu hluku

7.4.1. Biochemické ukazatele

Hladiny vybraných biochemických ukazatelů (kortizolu, α -amylázy) byly stanovovány ve vzorcích plných slin exponovaných osob. Vzorky byly odebírány pomocí ústního tampónu z odběrové zkumavky Salivette Cortisol, který byl vyroben z inertního polymeru ve tvaru válečku o rozměrech 30x10mm. Nejčastějším doporučeným místem pro ústní tampon byla oblast pod jazykem nebo oblast mezi tváří a dásní v blízkosti druhé horní stoličky. Doba odběru slin se pohybovala od 3 do 5 minut a byla individuálně ovlivněna slinotokem.

Od 100 participantů byly v den expozice odebírány vzorky plných slin, a to ráno do 30 minut po probuzení (fáze 0), bezprostředně před expozicí (fáze 1), bezprostředně po třicetiminutové expozici (fáze 2) a večer před večerní hygienou a ulehnutím na lůžko (fáze 3).

Ranní a večerní čas odběru slin (fáze 0 a 3) byl stanoven v souladu s metodikou použitou již u studií Kirschbaum, Hellhammer 1999; Wust et al., 2000a, 2000b; Susoliakova et al., 2014. Čas odběru fáze 1 a 2 byl dán časem expozice, resp. scénáři studií zabývajících se zkoumáním akutního stresu (Kirschbaum, Hellhammer, 2000; Strahler et al., 2010). Expozice probíhala jednotlivě, účastníci si mohli zvolit pro svou účast ve studii kterékoliv dopoledne v kalendářním týdnu (odběry byly prováděny i o víkendu) a jeden z časů expozice v 8, 9, 10 nebo v 11 hodin.

Vzorky byly odebírány do odběrných zkumavek Salivette Cortisol (odběrová zkumavka použitá ve studii je na obrázku č. 14). Odběrové zkumavky Salivette jsou standardně používány ve studiích pro odběr vzorků slin a stanovení slinných ukazatelů (Wust et al., 2000a; Luecken, Gallo, 2008; Griefahn, Robens, 2010; Engert et al., 2013). Ihned po odběru byly zkumavky se vzorky uloženy v chladničce. Chlazeny byly rovněž po celou dobu transportu na Ústav hygieny a preventivního lékařství Lékařské fakulty Univerzity Karlovy Hradec Králové ke zpracování na centrifuze. Po odstředění byly vzorky zmrazeny na -20° C a při této teplotě byly uchovány až do doby převozu k analýze (měření) na odborné pracoviště EÚ v Praze.



Obrázek č. 14. Odběrová zkumavka na sliny Salivette Cortisol (www.sarstedt.com)

Z důvodu zabránění kontaminace vzorků slin znečišťujícími látkami a možnému zkreslení výsledků stanovení kortizolu a α -amylázy byly účastníci studie požádáni, aby v den odběru neprováděli náročnou fyzickou aktivitu (cvičení, sportování, práce na zahrádce a další možnou fyzickou zátěž) a pokud to lze, vyhýbali se rozrušení a stresovým situacím. Dvanáct hodin před odběrem neměli požívat alkohol a kouřit, jednu hodinu před odběrem nejíst hlavní jídlo dne a bezprostředně před odběrem se měli vyhnout konzumaci kyselých potravin a potravin s vysokým obsahem cukru a kofeinu a konzumaci mléčných výrobků. Před odběrem si měli vypláchnout ústa vodou k odstranění zbytků potravy a napít se čisté vody k odstranění případného pocitu sucha v ústech. Po vypláchnutí úst měli počkat s odběrem slin alespoň 10 minut, aby se zabránilo naředění vzorku slin. Respondenti rovněž vypracovali písemný záznam o čase odběrů mimo objekt ZUOVA (fáze 0 a 3), konzumaci alkoholu, kofeinu, nikotinu a léků pro kontrolu dodržení výše uvedených opatření (Hibel et al., 2006; Granger et al., 2007a, 2007b). V záznamu byla rámcově zachycena i míra pohybové aktivity v průběhu odběrového dne.

Analýzy slinných ukazatelů byly provedeny v akreditované laboratoři EÚ Praha. Slinný kortizol byl měřen radio-imunoanalýzou s radio ligandem I 125 (komerční kit Spectria Kortizol RIA / Orion Diagnostica, Finsko) pomocí analyzátoru Gamma Counter (Berthold Company). Slinná α -amyláza byla stanovena enzymatickou kolorimetrickou metodou

podle IFCC (The International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine), analyzátořem Cobas 6000 (firma Roche, Mannheim, SRN).

7.4.2. Fyziologické ukazatele

Protože byla pro expozici použita hudební nahrávka s výrazným podílem nízkofrekvenčního hluku o vysoké hladině ($L_{Aeq,T} = 78,9$ dB, kde $T=30$ min) a studie byla zaměřena na starší část populace – průměrný věk účastníků byl 51,8 let [42,0-64,2] a 37 % osob bylo starších 60 let, byl na doporučení lékařů kontrolován průběh akutní reakce účastníků během modelové expozice. Byl sledován krevní tlak a tepová frekvence. Krevní tlak byl měřen před započítím expozice, po prvních 5 minutách a dále každých 10 minut. Tepová frekvence byla sledována kontinuálně se záznamem po dvou až třech minutách.

7.4.3. Odolnost osob vůči stresové reakci na hlukovou expozici

Zásahový test

Součástí studie byl zásahový test, jehož účelem bylo zjistit, zda expozice bude mít negativní vliv na soustředění účastníků. Zásahový test byl realizován na přístroji vyrobeném a zapůjčeném FVZ UO (obrázek č. 15). Jedná se o jednoduchý test spočívající v evidování správných a nesprávných zásahů speciálním kovovým hrotem (stylus) do otvorů (kontaktů) umístěných přibližně v rozích obdélníkové desky (cca 10 x 7 cm), a to postupně ve směru hodinových ručiček během časového limitu v délce 1 min (viz obrázek č. 16). Úkolem bylo získat co nejvíce zásahů s co největším podílem správných zásahů. Podle doporučení FVZ UO si každý účastník jedenkrát vyzkoušel test před započítím expozice. Samotný test byl realizován 3 krát: těsně před expozicí, v polovině expozice (v 16. minutě) a bezprostředně po ukončení expozice (v 31. minutě).



Obrázek č. 15. Přístroj pro zásahový test (výroba FVZ UO)



Obrázek č. 16. Provádění zásahového testu

Osobní nezdolnost typu S.O.C.

Po ukončení expozice, třetím zásahovém testu a poexpozičním odběru vzorku slin (fáze 2) byl účastníku předán psychologický dotazník osobní nezdolnost typu S.O.C. Každému účastníku bylo individuálně ústně vysvětleno, že dotazník S.O.C. obsahuje celkem 29 položek a osoba, která dotazník vyplňuje, odpovídá zatržením příslušné číselné hodnoty na sedmibodové škále v rozsahu 1 až 7. Účastník obdržel spolu s dotazníkem písemné podrobné instrukce pro vyplnění. Účastníci vrátili vyplněný dotazník současně při odevzdání čtvrtého (večerního) vzorku slin (fáze 3).

7.5. Statistická vyhodnocení

Statistická analýza výsledků stanovení kortizolu, α -amylázy ve slinách byla provedena na Endokrinologickém ústavu Praha (Ing. Martin Hill, DrSc.). Před použitím parametrických statistických metodik byly původní metrické proměnné transformovány mocninnými transformacemi k dosažení symetrie a konstantního rozptylu (homoscedasticity) v datech i reziduích (Meloun et al. 2000). Poté byla symetrie rozdělení, homoscedasticita a homogenita rozdělení v transformovaných datech zkontrolována diagnostickými grafy a analýzou reziduí a vlivných bodů (Meloun et al., 2002; Meloun et al., 2004).

Pro analýzu vývoje hladin slinného kortizolu a slinné α -amylázy během pokusu byl využit lineární model sestávající z následujících nezávisle proměnných: faktor Subjekt, faktory bez opakování Pohlaví a Věková skupina, faktor s opakováním Fáze pokusu, interakcemi mezi nimi a dále z kovariátu Pořadí odběru zohledňujícího vliv krátkodobých diurnálních změn během jednotlivých měření. Kovariát byl do modelu zahrnut ve formě polynomu 4. stupně, který byl optimem pro vysvětlení vlivu tohoto kovariátu na závisle proměnné, kterými byly hladiny kortizolu a α -amylázy. Kritériem pro nalezení optimálního stupně polynomu bylo maximum predikovaného koeficientu determinace. Statistická významnost faktorů, interakcí a kovariátu ve formě polynomu v lineárním modelu byla posuzována na základě poměru rozptylů (F-hodnota) porovnávajícího rozptyl způsobený přirozenou variabilitou a rozptyl vysvětlený nezávisle proměnnými modelu (prediktory).

Statistická analýza fyziologických ukazatelů a zásahového testu byla provedena na Ústavu lékařské biofyziky Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové (RNDr. Aleš Bezrouk, Ph.D.). Pro zjištění významných rozdílů v tepových frekvencích a krevním tlaku byl použit Studentův párový t-test nebo Wilcoxon Signed-Rank Test v případě dat, která

nepocházela z populace dat s normálním rozdělením. Analýza byla provedena pro skupinu všech účastníků a samostatně pro skupinu žen a skupinu mužů. Pro zjištění významných rozdílů v zásahových testech byl použit Chi-kvadrát test, a to pro skupinu všech účastníků a samostatně pro skupinu žen a skupinu mužů z hlediska poměru špatných/dobrych odpovědí. Základní hladinu významnosti pro všechny statistické testy jsme volili $p = 0,05$ a s použitím Bonferroniho korekce v případě mnohočetných testování.

Vyhodnocení S.O.C. dotazníků a interpretace výsledků byla provedena v rámci spolupráce na Fakultě vojenského zdravotnictví Univerzity obrany v Hradci Králové (plk. PhDr. Zdeňek Hrstka, Ph.D.).

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - VÝSLEDKY

8. Neprofesionální terénní hluková expozice

Tato kapitola obsahuje analýzu dat z hlukově-expozičních scénářů venkovních hudebních produkcí, na jejímž základě byla modelována struktura hlukové expozice v experimentální studii. V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A naměřené během venkovních hudebních produkcí elektroakusticky zesilované hudby pro denní ($L_{Aeq,8h}$) a noční ($L_{Aeq,1h}$) dobu a hodnoty hluku pozadí ($L_{Aeq,T}$). Hodnoty hluku pozadí ($L_{Aeq,T}$) reprezentují hodnoty hluku v dané lokalitě v době, kdy měřený zdroj nebyl v provozu; index T znamená, že hodnota akustického tlaku nebyla přepočtena na referenční časový interval pro denní osmihodinovou ($L_{Aeq,8h}$) ani noční hodinovou dobu ($L_{Aeq,1h}$), ale byla naměřena v časovém intervalu T během 24 hodin dne.

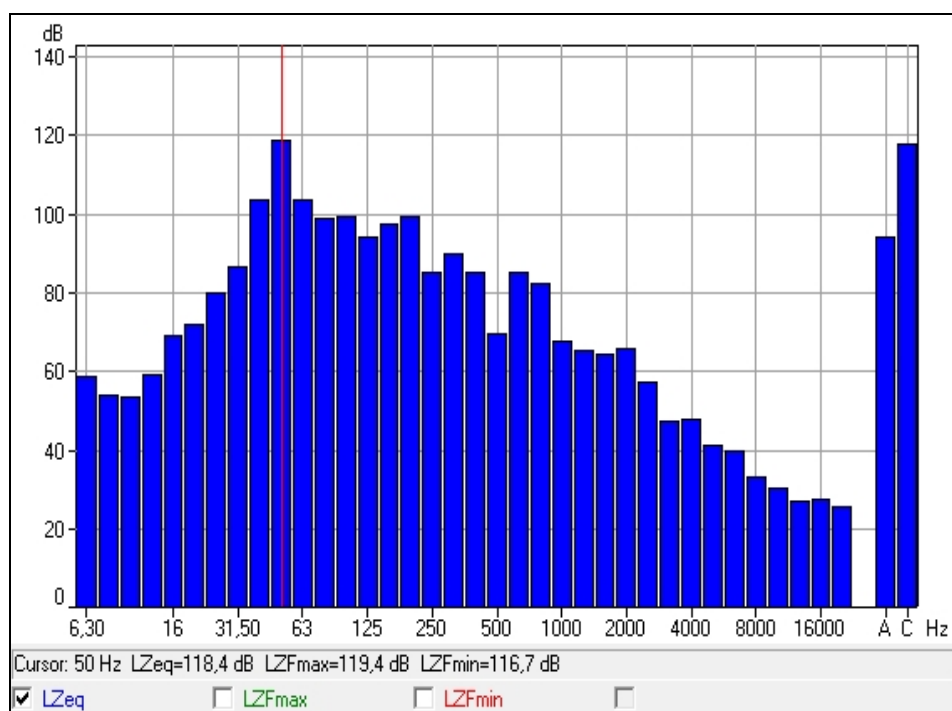
V tabulce je rovněž uvedena vzdálenost místa měření od zdroje hluku. Z údajů uvedených v tabulce č. 2 vyplývá, že v terénu naměřené hladiny hluku, zejména hluku z hudebních festivalů, převyšují hladinu hluku pozadí až o 20 dB, a to ve vzdálenosti až 2 km od místa konání hudební produkce.

Tabulka č. 2. Hodnoty hluku venkovních hudebních produkcí

Rok měření	Akce	Vzdálenost [m]	$L_{Aeq,8h}$ [dB]	$L_{Aeq,1h}$ [dB]	Pozadí $L_{Aeq,T}$ [dB]
2002	OAF Trutnov	130		72,9	
2002	OAF Trutnov	100		77,9	
2002	OAF Trutnov	175		69,4	
2003	OAF Trutnov	100	68,8	71,0	
2003	OAF Trutnov	140	66,3	64,4	
2003	OAF Trutnov	140	67,2	65,2	
2004	OAF Trutnov	140	54,1		41,7
2004	OAF Trutnov	140	67,7	74,9	46,3; 37,3
2004	OAF Trutnov	180	62,3	70,6	31,6 až 37,3
2004	OAF Trutnov	180	62,9	70,8	44,9; 37,8
2004	OAF Trutnov	230		74,8	
2006	OAF Trutnov	230		61,9	17,8
2006	OAF Trutnov	230		61,7	39,0
2008	OAF Trutnov	140	67,2	74,0	48,0
2008	OAF Trutnov	230	64,3	71,1	43,2
2009	Koncert Tři sestry, Brno*	2 000	52,0	52,6	39,8
2009	Hudební akce, Šlapanice*	60		62,8	42,4
2010	Rock for People, Hradec Králové	2 000	54,7	58,8	33,7
2010	Rock for People, Hradec Králové	1 600	47,1	52,4	33,6
2010	Rock for People, Hradec Králové	1 700	50,3	38,5	34,5
2010	Rock for People, Hradec Králové	1 200	53,4	56,6	38,9

Rok měření	Akce	Vzdálenost [m]	$L_{Aeq,8h}$ [dB]	$L_{Aeq,1h}$ [dB]	Pozadí $L_{Aeq,T}$ [dB]
2010	Pleasure Islands, Hradec Králové	2 000	55,6	59,3	33,7
2010	Pleasure Islands, Hradec Králové	1 600	55,0	56,6	33,6
2010	Pleasure Islands, Hradec Králové	1 700	43,3	38,4	34,7
2010	Pleasure Islands, Hradec Králové	1 200	40,0	37,2	34,4
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	2 000	41,5	46,2	33,7
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	1 600	40,4	41,4	33,6
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	1 700	43,6	45,2	34,7
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	1 200	55,6	61,3	34,4
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	3 800	44,7		
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	2 800	38,2		
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	2 800	41,9		
2010	Hip Hop Kemp, Hradec Králové	3 000	49,6		
2011	Kulturní akce, Horní Loučky*	60		62,2	32,8
2011	Hudební produkce, Blansko*	40		80,7	65,7
2011	OAF Trutnov	230		74,4	
2011	Festival Mighty sounds, Tábor*	1 000		55,8	27,6
2011	Festival Mighty sounds, Tábor*	900		56,0	29,2
2012	Areál Podskalí*	460		49,4	
2012	Letní noc, Prácheň*	30		59,3	30,2
2012	Brněnské Vánoce*	100	65,0		61,1
2013	Amfiteátr Rožnov p. Radhoštěm	100 až 200	38,9 až 60,9	39,8 až 61,8	26,6 až 44,5
			36,8 až 58,8	36,8 až 58,8	26,6 až 44,6

Na obrázku č. 17 je jako příklad uveden záznam třetinooktávového spektra akustického signálu, který byl naměřen při hudební produkci v obytné zástavbě v rámci hudebního festivalu v Trutnově v roce 2008 (viz tabulka č. 2). Z obrázku vyplývá, že se jedná o akustický signál, typický pro hluk z hudební produkce – nízkofrekvenční hluk s tónovou složkou. Pro tento hluk je typické, že většina akustické energie je soustředěna do oblasti frekvencí pod 100 Hz, resp. 200 Hz, signál obsahuje výraznou tónovou složku na frekvenci 50 Hz (označena červeným kurzorem) a rozdíl ekvivalentních hladin hluku L_{Aeq} a L_{Ceq} je více jak 20 dB (poslední dva sloupce vpravo, legenda A, C).



Obrázek č. 17. Záznam třetinooktávového spektra akustického signálu naměřeného při hudební produkci (obytná zástavba, hudební festival v Trutnov, 2008)

Grafy č. 1 až 3 zachycují výstupy ze zpracování akustických signálů naměřených v okolní obytné zástavbě při třech venkovních hudebních produkcích v rámci hudebních festivalů, konaných v Hradci Králové v roce 2010. Festival Rock for People byl charakterizován melodickou hudbou, živou i reprodukovanou různých stylů a žánrů. Festival Pleasure Islands byl charakterizován elektronicky generovanou hudbou (vytvořenou syntetizátory) ve stylu techno, trance, hardstyle a house. Festival Hip Hop Kemp byl charakterizován elektronicky generovanou i živou hudbou ve stylu hip-hop a rap. Všechny tři série měření

byly realizovány na šesti stejných (referenčních) místech venkovního prostoru, označených jako MM0 až MM5. Tato místa se nacházela v areálu hudební produkce a v blízkosti nejbližší obytné zástavby okolních obcí (obrázek č. 18).

V následujících grafech 1 až 3 a tabulkách 3 až 5 jsou uvedeny hodnoty hluku naměřené po 22 hodině, což je dle Zákona č. 258/2000 Sb. zákonná noční doba. Toto časové období bylo vybráno záměrně na základě nejvyšší frekvence stížností na rušení a obtěžování tímto typem hluku během nočních produkcí (údaje NRL). Přestože každá hudební produkce ze tří výše uvedených byla zaměřena na jiný typ hudby, charakter akustického signálu byl velmi podobný. Vyznačoval se vysokým podílem akustické energie v oblastech frekvencí pod 100 Hz, výraznou tónovou složkou v nízkofrekvenční oblasti (v oblastech kolem frekvence 50 Hz) a významným překročením prahu slyšení L_{ps} (vyznačen v grafech černou křivkou). Z tabulek č. 3 až 5 vyplývá, že rozdíl naměřených hodnot v ekvivalentních hladinách hluku $L_{Aeq,T}$ a $L_{Ceq,T}$, se pohybuje mezi 13–24 dB.

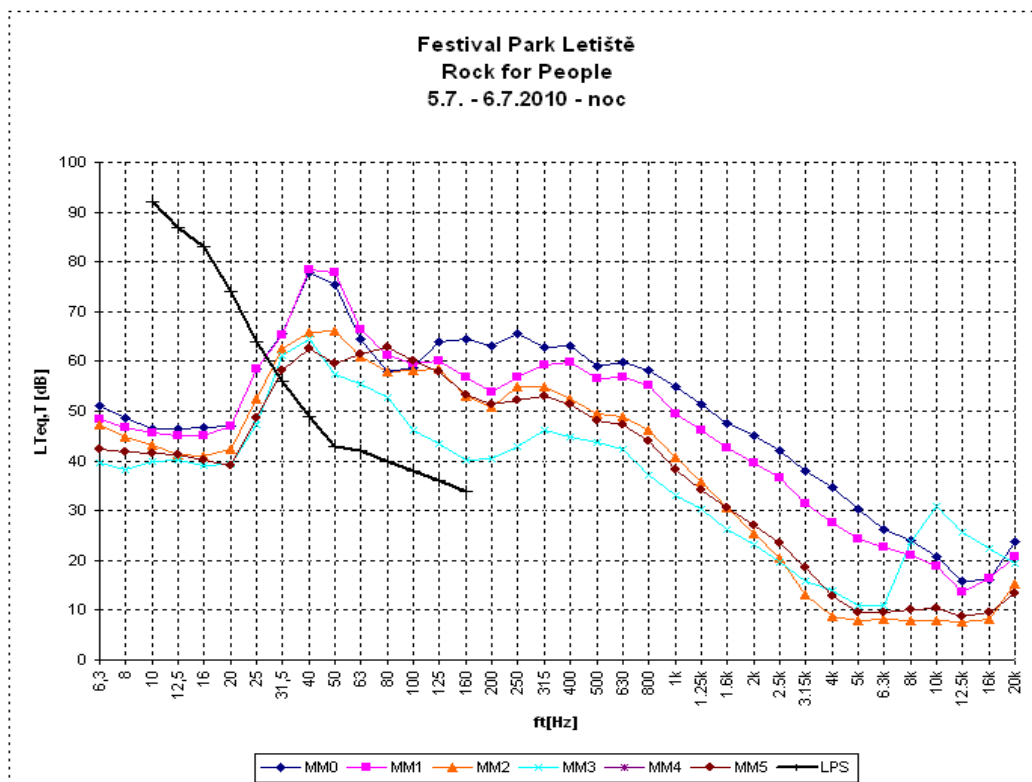


Obrázek č. 18. Rozmístění míst měření (MM) při hudebních festivalech na letišti Hradec Králové

Legenda:

- MM0 umístěno přímo v areálu, kde se hudební produkce konaly, mikrofon ve výšce 12 m
- MM1 umístěno přímo v areálu, kde se hudební produkce konaly, mikrofon ve výšce 4 m
- MM2 umístěno cca 2 km od hlavního pódia, mikrofon ve výšce 4 m
- MM3 umístěno cca 1,6 km od hlavního pódia, mikrofon ve výšce 4 m
- MM4 umístěno cca 1,7 km od hlavního pódia, mikrofon ve výšce 4 m
- MM5 umístěno cca 1,2 km od hlavního pódia, mikrofon ve výšce 4 m

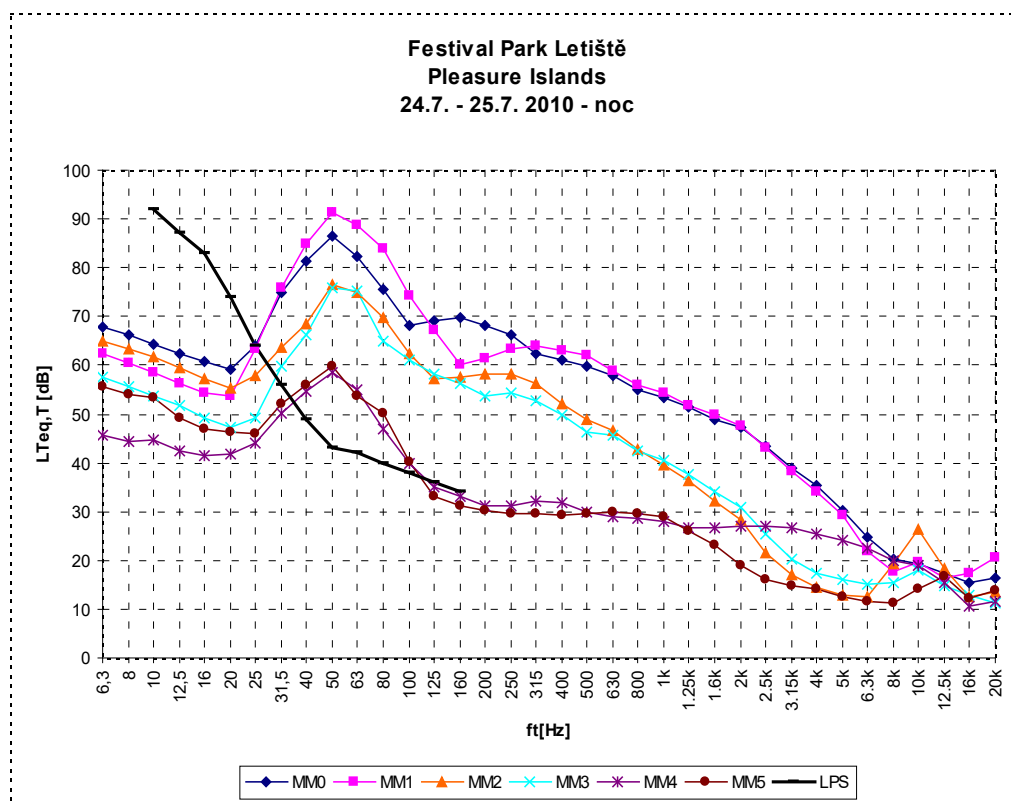
Graf č. 1. Záznam třetinooktávového spektra akustického signálu naměřeného při hudební produkci v rámci festivalu Rock for People, Hradec Králové v noční době



Tabulka č. 3. Hodnoty určujících ukazatelů hluku naměřené při festivalu Rock for People Hradec Králové v časovém intervalu 22:00 až 01:15 hod

Místo měření (MM)	$L_{Aeq,T}$ [dB]	$L_{Ceq,T}$ [dB]	Rozdíl $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$ [dB]
MM0	66,2	79,5	13,3
MM1	62,3	80,2	17,9
MM2	55,6	70,3	14,7
MM3	47,6	65,4	17,8
MM4	39,7	57,5	17,8
MM5	54,3	68,8	14,5

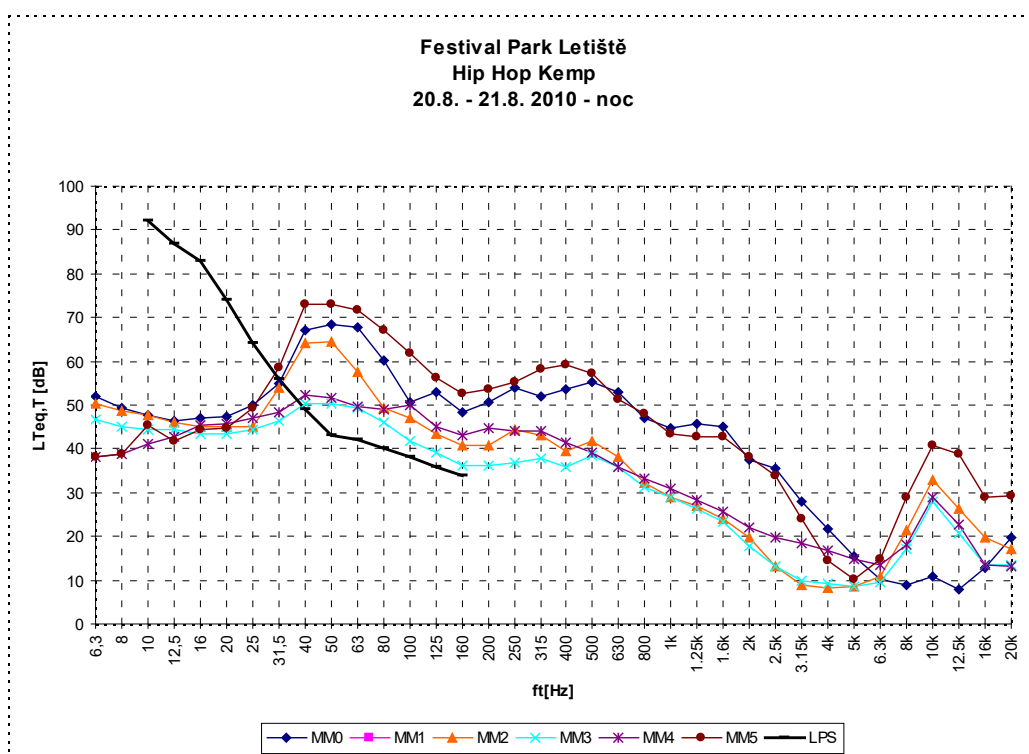
Graf č. 2. Záznam třetinooktávového spektra akustického signálu naměřeného při hudební produkci v rámci festivalu Pleasure Islands Hradec Králové v noční době



Tabulka č. 4. Hodnoty určujících ukazatelů hluku naměřené při festivalu Pleasure Islands Hradec Králové v časovém intervalu 22:00 až 02:00 hod

Místo měření (MM)	$L_{Aeq,T}$ [dB]	$L_{Ceq,T}$ [dB]	Rozdíl $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$ [dB]
MM0	67,3	88,1	20,8
MM1	69,4	93,4	24,0
MM2	57,8	79,0	21,2
MM3	55,9	78,4	22,5
MM4	39,8	60,5	20,7
MM5	38,2	61,4	23,2

Graf č. 3. Záznam třetinooktávového spektra akustického signálu naměřeného při hudební produkci v rámci festivalu Hip Hop Kemp Hradec Králové v noční době



Poznámka: Zvýšené hladiny na vysokých frekvencích jsou způsobeny nočním hmyzem

Tabulka č. 5. Hodnoty určujících ukazatelů hluku naměřené při festivalu Hip Hop Kemp Hradec Králové v časovém intervalu 22:00 až 01:00 hod

Místo měření (MM)	$L_{Aeq,T}$ [dB]	$L_{Ceq,T}$ [dB]	Rozdíl $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$ [dB]
MM0	58,1	72,2	14,1
MM1	-	-	-
MM2	45,4	66,7	21,3
MM3	41,4	55,5	14,1
MM4	45,0	58,4	13,4
MM5	60,4	77,0	16,6

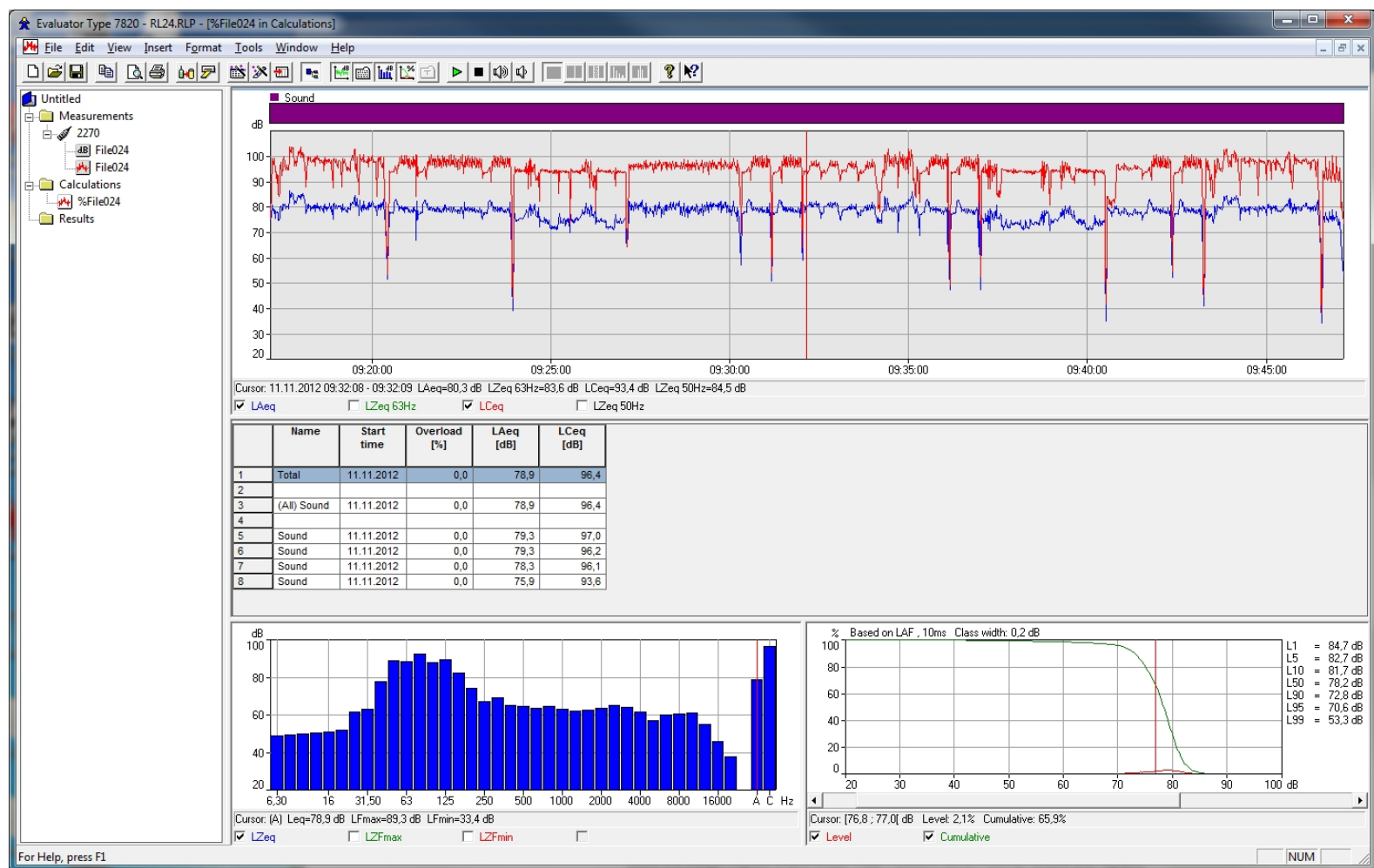
9. Experimentální hluková studie

9.1. Modelová expozice v experimentální hlukové studii

Data uváděná v předchozí kapitole se stala základem pro modelování struktury hlukové expozice v experimentu s dobrovolníky. Akustické parametry signálu použitého k expozici v rámci studie jsou patrné z následujícího obrázku č. 18, který zahrnuje záznam po celou dobu T expozice jednoho respondenta ($T = 30$ min). V horní části obrázku je hladina hluku vážená filtrem A ($L_{Aeq,T}$) znázorněna spodní modrou křivkou) a filtrem C ($L_{Ceq,T}$) znázorněna horní červenou křivkou). Ve střední části obrázku jsou v tabulce číselné hodnoty určujících ukazatelů hluku $L_{Aeq,T}$ a $L_{Ceq,T}$ (dB) a v levé dolní části obrázku je modrý graf, který znázorňuje třetinooktávové spektrum akustického signálu. Z uvedených akustických parametrů vyplývá, že osoby ve studii byly exponovány akustickým signálem s vysokým podílem nízkofrekvenčního hluku (obrázek č.19).

Určitý problém představovala délka experimentální expozice. Expozice během hudebních produkcí se pohybuje řádově v hodinách až desítkách hodin v rámci několika navazujících dní, což v experimentálních podmínkách není realizovatelné. Delší expozice nižším hladinám hluku během hudební produkce v reálném prostředí byla proto v experimentu (v souladu s literaturou) nahrazena kratší, třicetiminutovou expozicí výrazně vyšším hladinám (Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2010). Úroveň experimentální expozice $L_{Aeq,T}$ se pohybovala v rozpětí 75 až 80 dB, což je hladina zhruba o 20 dB vyšší oproti hladinám hluku naměřeným při produkcích v obytné zástavbě (Junek a kol., 2011; tabulky č. 2 až 5).

Při odhadu maximální výše hladiny $L_{Aeq,T}$ pro experimentální expozici jsme vycházeli ze závěru studie, která doporučuje maximální hladinu 100 dB pro expozici posluchačů při hudebních festivalech, jako kompromis mezi požadavky na ochranu zdraví účastníků hudebních produkcí, požadavky organizátorů těchto akcí a samotných hudebníků a také očekáváním veřejnosti (Mercier et al., 2003) a doporučením WHO (Berglund et al., 2000).



Obrázek č. 19. Záznam akustického signálu (model hudební produkce) použitého při experimentální expozici (vyhodnocení s pomocí programu Evaluator firmy Brüel & Kjaer, Dánsko)

9.2. Vybrané charakteristiky skupiny participantů

Experimentální studie se zúčastnilo 100 respondentů, kteří byli pro účely hodnocení výsledků studie rozděleni do věkových skupin: <18;30> let, <31;60> let a >60 let. Průměrný věk všech respondentů byl 51,8 let [42.0-64.2], u žen 52,4 let [42.5-64.0] a u mužů 50,8 let [38.0-66.0]. Vybrané charakteristiky, týkající se věku, vzdělání a pravidelného užívání léků jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6. Vybrané charakteristiky skupiny participantů

	Celkem (n=100)	Ženy (n=63)	Muži (n=37)
Věk – průměr [roky]	51,8 [42.0-64.2]	52,4 [42.5-64.0]	50,8 [38.0-66.0]
Věk – rozložení ve věkových pásmech [počet osob]			
<18;30>	11	6	5
<31;60>	52	32	20
>60	37	25	12
Pravidelně užívané léky [počet osob]			
Věk – průměr [let]	65,0 [60.8-70.3]	64,8 [59.7-71.5]	65,3 [63.5-70.2]
Počet osob	24	14	10
Hypertenze	8	4	4
Cholesterol	4	1	3
Hypertenze + cholesterol	10	7	3
Kardiovaskulární onemocnění (KVO)	1	1	0
Hypertenze + KVO	1	1	0
Pravidelné kouření >5 cigaret/den [počet osob]			
Počet osob	5	3	2

Z analýzy dotazníkových odpovědí (dotazníky osobní nezdolnosti S.O.C.) vyplývá, že z celkového počtu 100 účastníků bylo nadprůměrně odolných 46 osob, průměrně odolných (standard populace) 18 osob a podprůměrně odolných 36 osob. Podrobnější výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka č. 7. Zastoupení kategorií úrovní osobní nezdolnosti (S.O.C.) skupiny participantů – počty osob (procenta osob z celku)

	Vysoce zranitelní	Spíše zranitelní	Průměrně zranitelní	Spíše nezranitelní	Vysoce nezranitelní	Celkem osob
Ženy	12 (19%)	11 (18%)	9 (14%)	14 (22%)	17 (27%)	63 (100%)
Muži	4 (11%)	9 (24%)	9 (24%)	5 (14%)	10 (27%)	37 (100%)
Celkem	16 (16%)	20 (20%)	18 (18%)	19 (19%)	27 (27%)	100 (100%)

9.3. Biochemické ukazatele reakce organismu na půlhodinovou expozici nízkofrekvenčnímu hluku

9.3.1. Slinný kortizol

Zjištěné hladiny mají standardní průběh křivky, která znázorňuje cirkadiánní rytmus hladin kortizolu v průběhu dne; vliv expozice se neprojevil, což znamená, že nedošlo ke změně křivky, hladiny kortizolu ve slinách měly ve všech čtyřech vzorcích klesající trend, viz graf č. 4, ve kterém jsou grafy pro ženy podbarveny oranžově, pro muže modře, souhrnné (bez zohlednění pohlaví) šedě. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 8, kde hladiny významnosti $p < 0,05$ jsou vyznačeny tučně a označeny hvězdičkami a významné poměry rozptylů (F-hodnota) jsou vyznačeny tučně.

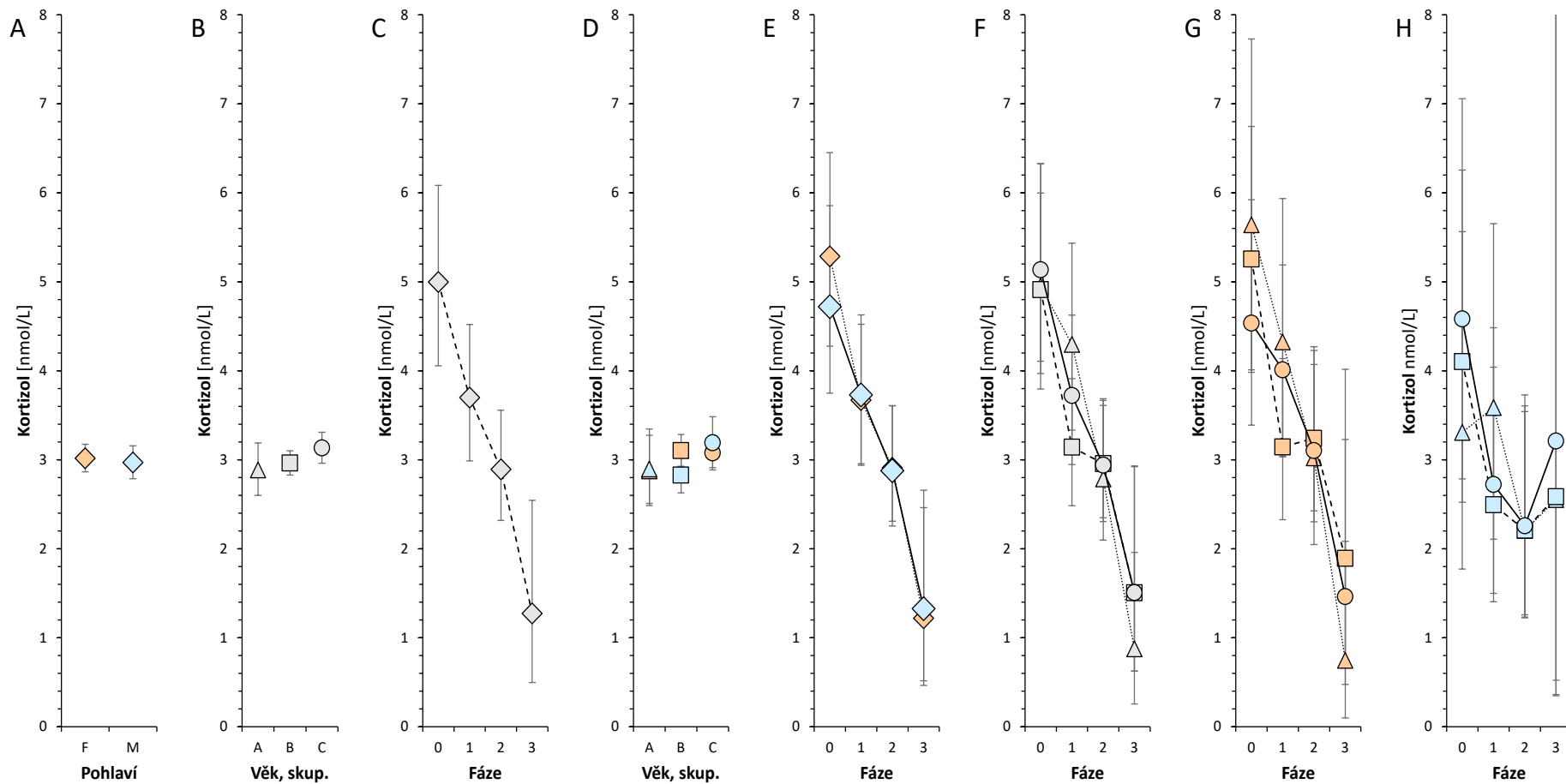
Získaná data neprokázala vliv pohlaví ani věku v posuzovaných věkových skupinách <18;30> let (A), <31;60> let (B) a >60 let (C), na hladiny slinného kortizolu v průběhu dne.

Nejstrmější křivku poklesu hladin kortizolu měly nejmladší ženy.

ANOVA model pro ženy ukazuje nevýznamný rozdíl mezi věkovými skupinami, významnou změnu hladin s fází, významné inter-individuální rozdíly, významnou závislost na pořadí odběru a významnou závislost průběhu hladin na věku.

ANOVA model pro muže ukazuje nevýznamný rozdíl mezi věkovými skupinami, nevýznamnou změnu hladin s fází, významné inter-individuální rozdíly, významnou závislost na pořadí odběru a nevýznamnou závislost průběhu hladin na věku.

Graf č. 4 - Hladiny slinného kortizolu a vliv pohlaví, věkových skupin a fáze (jednotlivými odběry)



Tabulka č. 8. Výsledky statistické analýzy výsledků stanovení kortizolu ve slinách

ANOVA ženy a muži	F-hodnota	p
Pohlaví (A)	0,1	0,779
Věková skupina (B)	0,8	0,463
Fáze (C)	6,2	<0.001***
Subjekt (Pohlaví, Věková skupina) (D)	3,5	<0.001***
Pořadí odběru (E)	10,4	<0.001***
Interakce A × B	0,8	0,439
Interakce A × C	0,5	0,668
Interakce B × C	1,9	0,076
Interakce A × B × C	1,4	0,229
ANOVA ženy	F-hodnota	p
Věková skupina (B)	0,3	0,709
Fáze (C)	2,9	0,037*
Subjekt (Pohlaví, Věková skupina) (D)	3,4	<0.001***
Pořadí odběru (E)	10,8	<0.001***
Interakce B × C:	2,7	0,016*
ANOVA, muži	F-hodnota	p
Věková skupina (B)	0,9	0,406
Fáze (C)	2,3	0,082
Subjekt (Pohlaví, Věková skupina) (D)	3,0	<0.001***
Pořadí odběru (E)	5,2	0,025*
Interakce B × C:	0,8	0,611

9.3.2. Slinná α -amyláza

Zjištěné hladiny mají standardní průběh křivky, která znázorňuje cirkadiánní rytmus hladin α -amylázy v průběhu dne; vliv expozice se neprojevil, což znamená, že nedošlo ke změně křivky, viz graf č. 5, ve kterém jsou grafy pro ženy podbarveny oranžově, pro muže modře, souhrnné (bez zohlednění pohlaví) šedě. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 9, kde hladiny významnosti $p < 0,05$ jsou vyznačeny tučně a označeny hvězdičkami a významné poměry rozptylů (F-hodnota) jsou vyznačeny tučně.

Získaná data prokázala vliv pohlaví na hladiny slinné α -amylázy v průběhu dne, kdy u žen (F) byly zjištěny vyšší hladiny než u mužů (M), přičemž rozdíl je statisticky významný.

Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi posuzovanými věkovými skupinami $<18;30>$ let (A), $<31;60>$ let (B) a >60 let (C), resp. věk má vliv na hladiny α -amylázy v průběhu dne. Nejnížší celkové hodinové hladiny byly zjištěny u osob $<18;30>$, nejvyšší u osob >60 let, přičemž rozdíly jsou statisticky významné.

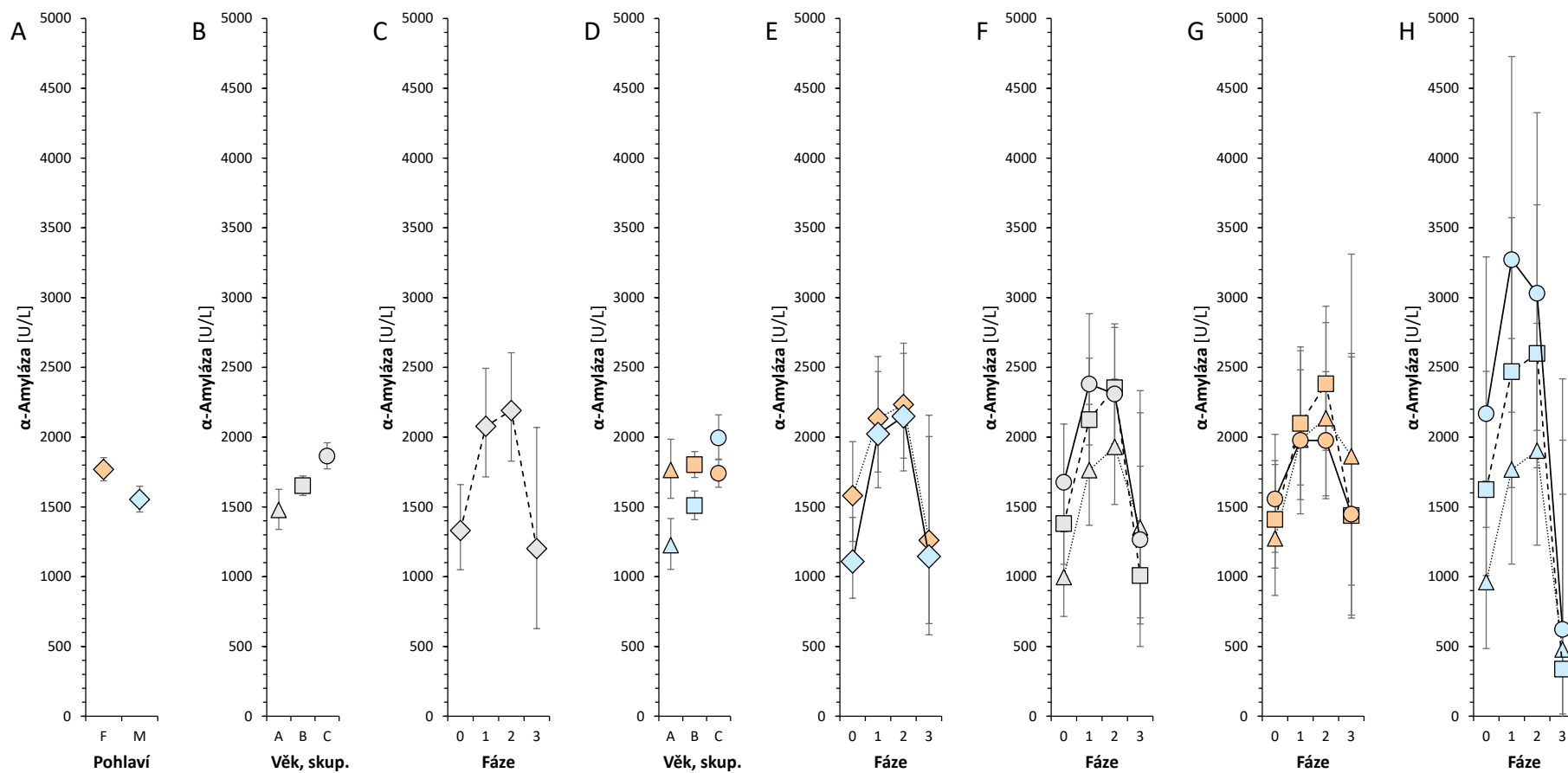
Při hodnocení interakce věku a pohlaví byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi skupinou žen a mužů. Ve věkových skupinách $<18;30>$ let a $<31;60>$ let byly zjištěny hladiny α -amylázy vyšší u žen, přičemž rozdíl je statisticky významný. V kategorii >60 let byla hladina α -amylázy u žen nižší, přičemž rozdíl je na hranici statistické významnosti. Hladina α -amylázy s věkem u mužů statisticky významně stoupá, u žen se významně nemění.

U žen změny v hladinách slinné α -amylázy nedosáhly statistické významnosti v jednotlivých fázích odběru vzorků. Naopak u mužů tyto změny byly statisticky významné.

ANOVA model pro ženy ukazuje nevýznamný rozdíl mezi věkovými skupinami, nevýznamné změny hladin s fází, významné inter-individuální rozdíly, nevýznamnou závislost na pořadí odběru a nevýznamnou závislost průběhu hladin na věku.

ANOVA model pro muže ukazuje významný rozdíl mezi věkovými skupinami, významné změny hladin s fází, významné inter-individuální rozdíly, významnou závislost na pořadí odběru a nevýznamnou závislost průběhu hladin na věku.

Graf č. 5. Hladiny slinné α -amylázy a vliv pohlaví, věkových skupin a fáze (jednotlivé odběry)



Tabulka č. 9. Výsledky statistické analýzy výsledků stanovení slinné α -amylázy ve slinách

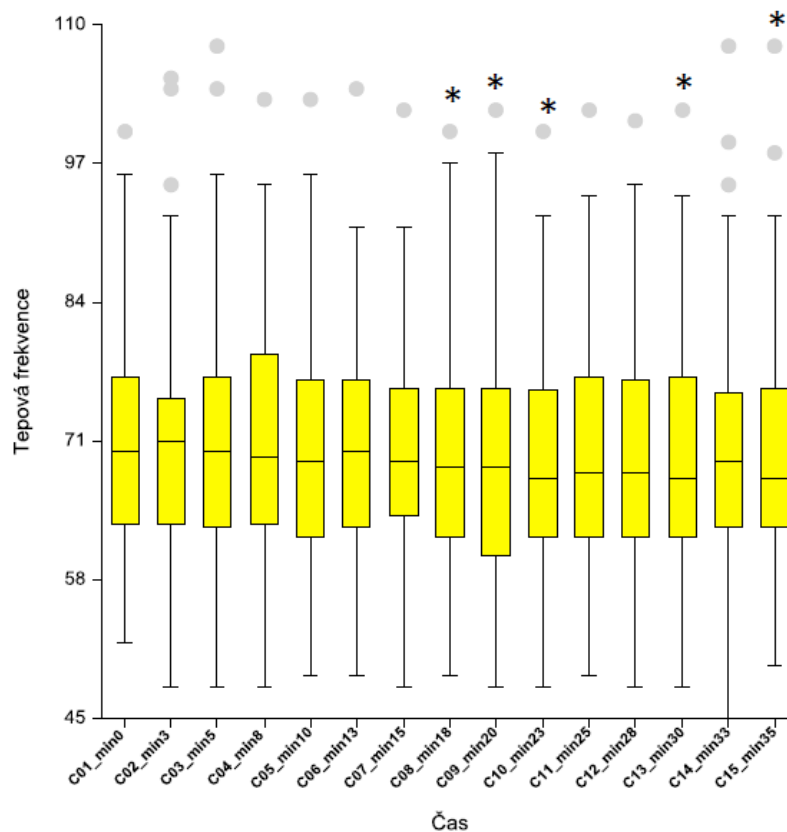
ANOVA ženy a muži	F-hodnota	p
Pohlaví (A)	5,9	0,016*
Věková skupina (B)	5,7	0,004**
Fáze (C)	5,5	0.001***
Subjekt (Pohlaví, Věková skupina) (D)	9,0	<0.001***
Pořadí odběru (E)	2,6	0,105
Interakce A \times B	8,0	<0.001***
Interakce A \times C	1,7	0,177
Interakce B \times C	2,0	0,062
Interakce A \times B \times C	0,3	0,949
ANOVA ženy	F-hodnota	p
Věková skupina (B)	0,3	0,774
Fáze (C)	2,2	0,086
Subjekt (Pohlaví, Věková skupina) (D)	9,2	<0.001***
Pořadí odběru (E)	0,2	0,644
Interakce B \times C:	1,0	0,414
ANOVA, muži	F-hodnota	p
Věková skupina (B)	12,7	<0.001***
Fáze (C)	2,7	0,04*
Subjekt (Pohlaví, Věková skupina) (D)	8,4	<0.001***
Pořadí odběru (E)	4,6	0,035*
Interakce B \times C:	1,1	0,39

9.4. Fyziologické ukazatele reakce organismu na půlhodinovou expozici nízkofrekvenčním hlukem

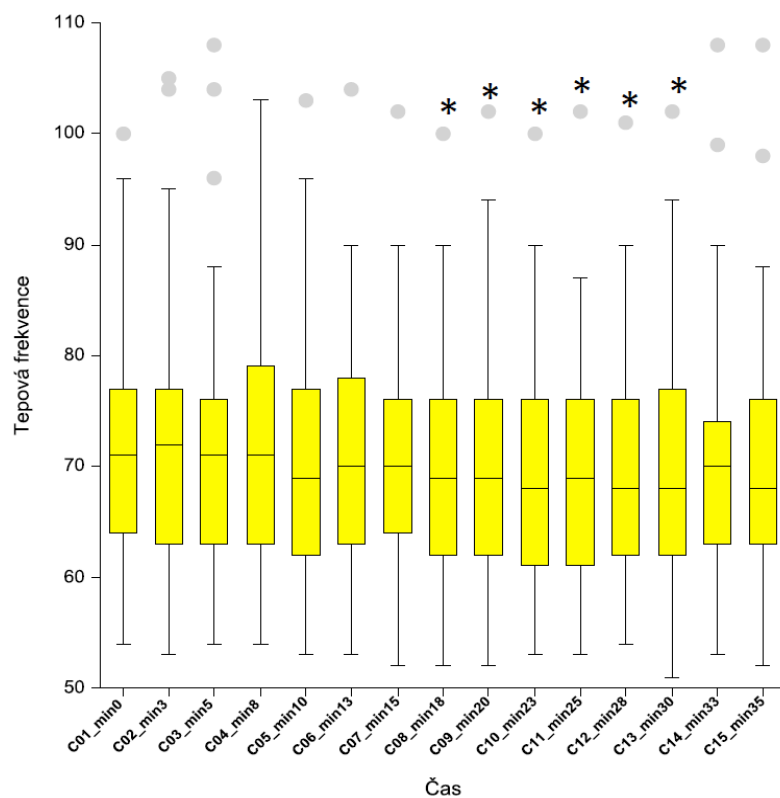
9.4.1. Tepová frekvence

V testovaných skupinách představovaných skupinou všech osob a skupinou žen docházelo k významným poklesům tepové frekvence měřené v časových intervalech v průběhu expozice v porovnání s tepovou frekvencí měřenou těsně před expozicí. U skupiny mužů k významným změnám nedošlo. Z důvodů mnohočetného testování (14 testů) byla hladina významnosti testu korigována na hodnotu $p=0,003571$ ($=0,05/14$). Významně rozdílné výsledky jsou v grafech č. 6 až 8 vyznačeny hvězdičkou, vychýlené hodnoty šedou tečkou.

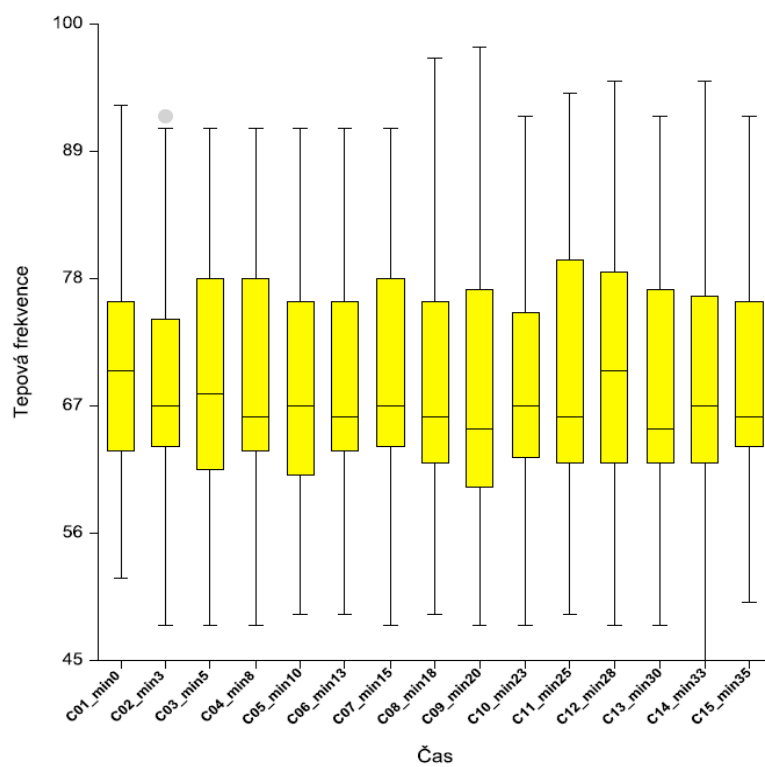
Graf č. 6. Tepová frekvence BoxPlot graf pro všechny účastníky



Graf č. 7. Tepová frekvence BoxPlot graf pro ženy



Graf č. 8. Tepová frekvence BoxPlot graf pro muže



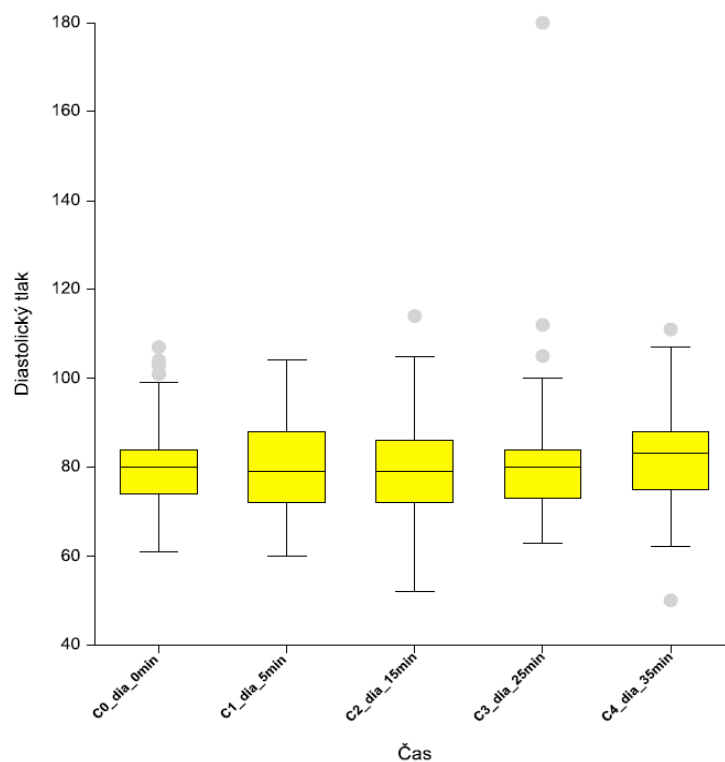
9.4.2. Krevní tlak

U diastolického tlaku měřeného v průběhu expozice nedošlo k významné změně v porovnání s předexpozičním měřením v žádné z testovaných skupin. Z důvodů mnohočetného testování (4 testy) byla hladina významnosti testu korigována na hodnotu $p = 0,0125 (= 0,05/4)$.

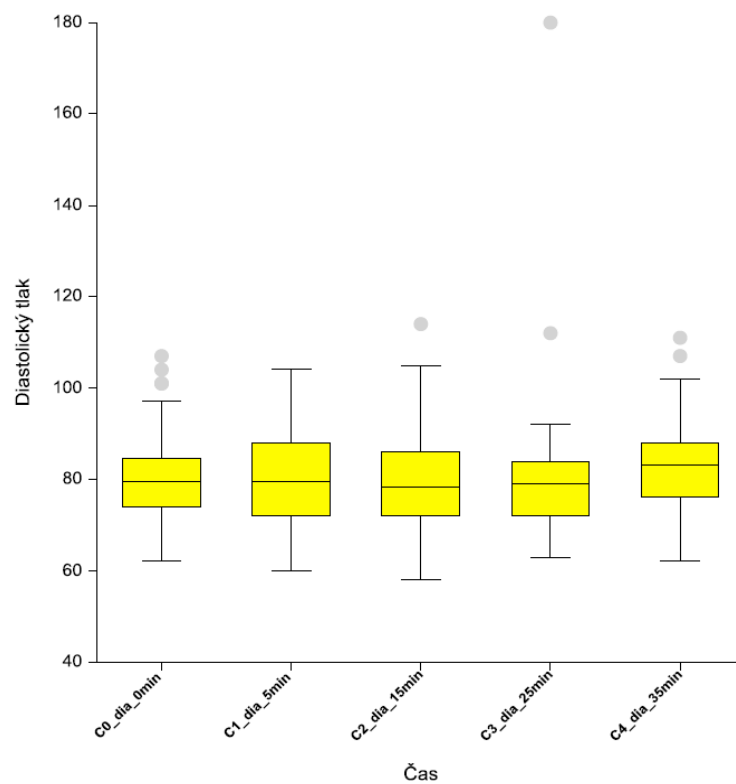
U tlaků systolických měřených v průběhu expozice došlo k významným poklesům v porovnání s předexpozičním měřením ve všech testovaných skupinách. Z důvodů mnohočetného testování (4 testy) byla hladina významnosti testu korigována na hodnotu $p = 0,0125 (= 0,05/4)$.

Významně rozdílné výsledky jsou v grafech č. 9 až 14 vyznačeny hvězdičkou, vychýlené hodnoty šedou tečkou.

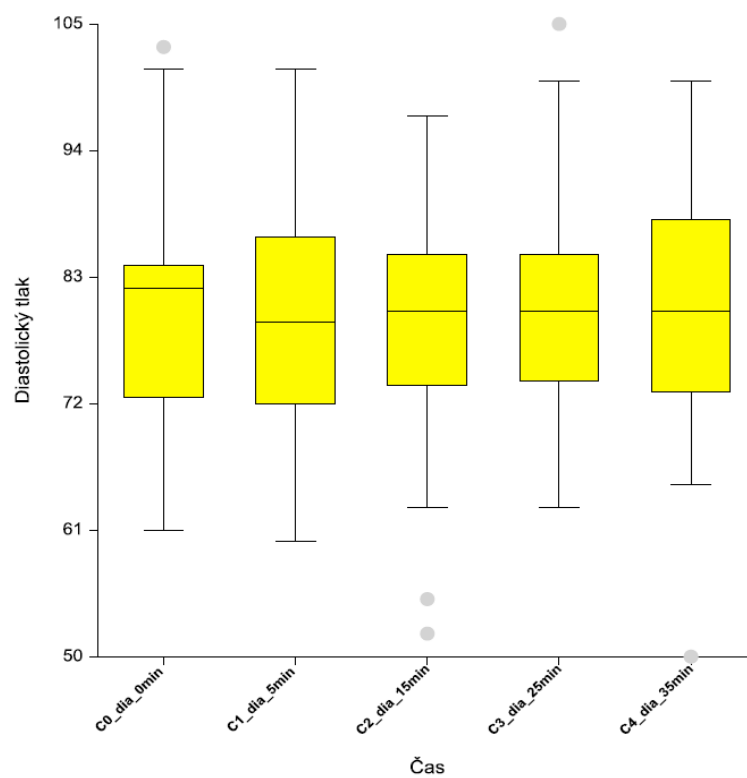
Graf č. 9. Diastolický tlak BoxPlot graf pro všechny účastníky



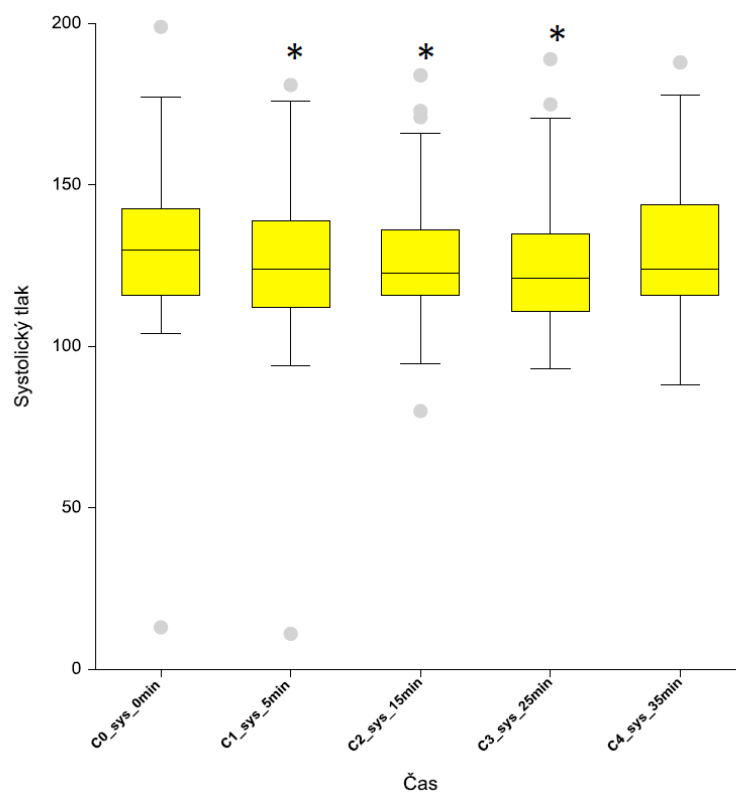
Graf č. 10. Diastolický tlak BoxPlot graf pro ženy



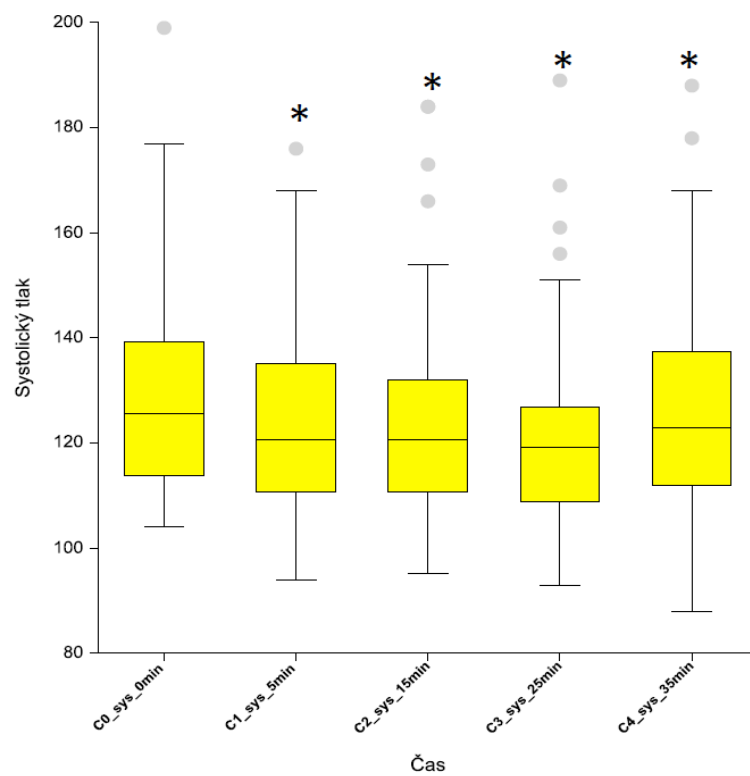
Graf č. 11. Diastolický tlak BoxPlot graf pro muže



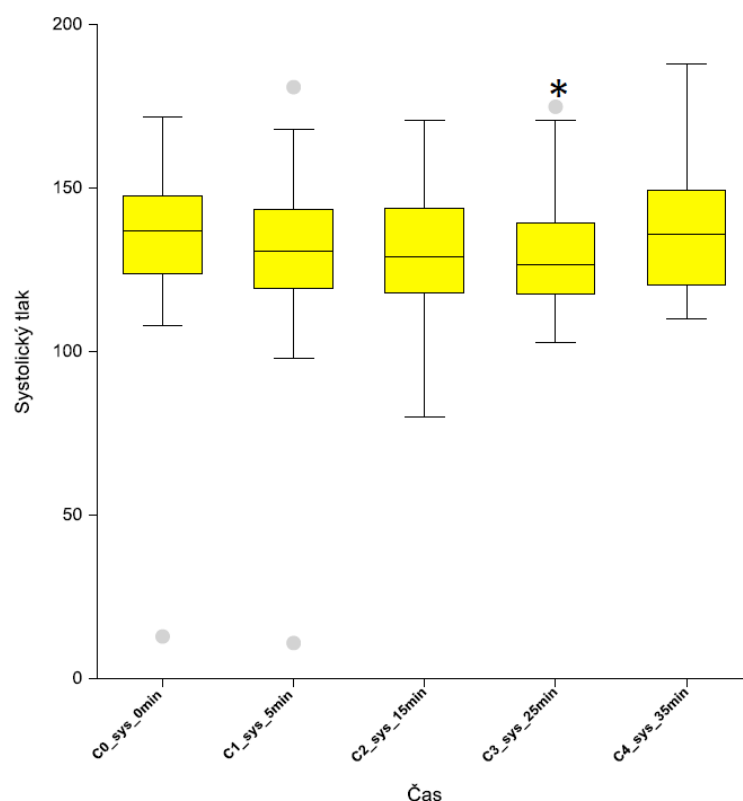
Graf č. 12. Systolický tlak BoxPlot graf pro všechny účastníky



Graf č. 13. Systolický tlak BoxPlot graf pro ženy



Graf č. 14. Systolický tlak BoxPlot graf pro muže



Jak vyplývá z uvedených dat, po expozici jsme u žen zaznamenali významný pokles tepové frekvence, systolického tlaku a schopnosti soustředění. U mužů jsme zaznamenali významný pokles systolického tlaku.

9.5. Psychologický ukazatel reakce organismu na půlhodinovou expozici nízkofrekvenčnímu hluku (Zásahový test)

V případě zásahových testů byl použit Chí-kvadrát test opět pro skupinu všech osob a pro každé pohlaví zvlášť. Došlo k významné změně při porovnání výsledků před expozicí a v polovině expozice (v 16. min) u žen, při porovnání výsledků před expozicí a po expozici (v 31. min) u všech osob a rovněž u žen. Hodnocení v případě zásahového testu je možné pouze z poměru špatných/dobrych odpovědí. Z tohoto pohledu je výsledky testu u skupiny žen možné interpretovat jako zhoršení. Významné výsledky jsou v tabulce č. 10 zvýrazněny tučně a označeny hvězdičkami. Hladina významnosti testu byla stanovena na hodnotu $p=0,05$.

Tabulka č. 10. Výsledky zásahového testu

Skupina	Zásahy	Celkem				chi-square	p
		Správné	Nesprávné	Poměr	Celkem		
Všichni	Před expozicí	9823	751	13,1	10574	-	-
	V polovině expozice	9939	840	11,8	10779	3,6918	0,055
	Po expozici	10341	905	11,4	11246	6,939	0,008**
Ženy	Před expozicí	6261	457	13,7	6718	-	-
	V polovině expozice	6343	553	11,5	6896	7,3322	0,007**
	Po expozici	6609	557	11,9	7166	4,821	0,028*
Muži	Před expozicí	3562	294	12,1	3856	-	-
	V polovině expozice	3596	287	12,5	3883	0,1516	0,697
	Po expozici	3732	348	10,7	4080	2,1834	0,14

Hladina významnosti $p=0,05$. Významné hodnoty zvýrazněny tučně

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - DISKUSE

10. Diskuse

10.1. Neprofesionální expozice nízkofrekvenčnímu hluku

Výsledky námi provedených terénních měření prokázaly, že hluk z hudebních produkcí v řadě současných forem (rock, hip-hop, disko, techno a další) obsahuje výrazné nízkofrekvenční složky, přičemž v obytné zástavbě hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ dosahují i v noční době mnohdy vysokých hodnot viz tabulka č. 2. Zvýraznění nízkofrekvenčních složek, někdy až do podoby výrazných nízkofrekvenčních tónů a jejich

případná modulace (kolísání) při průniku do vnitřního prostoru obytných staveb představuje výrazný rušivý a obtěžující stimul, který je předmětem stížností nedobrovolně exponovaných osob (DEFRA, 2005; Junek a kol., 2010).

Odborná literatura je poměrně bohatá na studie, které hodnotí zátěž (expozici) přímých účastníků (posluchačů) koncertů zejména z hlediska dopadu na posun sluchového prahu a prevenci ztrát sluchu (Yassi et al., 1993; Mercier et al., 2003; Opperman et al., 2006; Ryberg, 2009; Beach et al., 2013; Tronstad, Gelderblom, 2016; Gjestland, Tronstad, 2017).

V odborné literatuře jsem však nenalezla studie, které by popisovaly hodnoty hladin hluku z festivalů a koncertů naměřené v obytné zástavbě. Důvodem je pravděpodobně skutečnost, že v západních evropských zemích se hluk z venkovních hudebních produkcí v komunálním prostředí nepovažuje za zdravotní problém, ale je chápán jako jeden ze škodlivých faktorů životního prostředí, a proto řadí evropské země tuto expozici do kategorie zábavních aktivit („entertainment noise“), které nejsou závazně regulovány limity, ale patří do oblasti „veřejného pořádku“. To znamená, že se běžně neměří hlučnost, ale vychází se zejména z četnosti stížností. Jediným dohledaným odborným dokumentem je souhrn přístupů k řešení problematiky hluku z volnočasových aktivit zaměřený na hluk z hospod a klubů (DEFRA, 2005), který popisuje možné přístupy regulace ve Velké Británii. Tento přehled je zaměřen na hluk z provozoven, ve kterých je provozována hudební produkce, ale je zde popsán i různý přístup k řešení problému open-air koncertů, a to podle počtu konaných koncertů a místa jejich konání. Jedno z nejprísnejších hodnocení v noční době mezi 23:00 a 07:00 hodinou je, že nesmí být v žádné „hlukově citlivé místnosti“ (ložnice, dětské pokoje) při otevřeném okně hudba slyšitelná. Toto hodnocení vychází z „kritéria neslyšitelnosti“, kdy hudba se stává obtěžující již při hladinách jen mírně nad práh slyšení, respektive nad hladinu hluku pozadí. To by v našich podmínkách znamenalo, že prakticky všechny naměřené hodnoty v rámci státního zdravotního dozoru by nesplnily toto kritérium, viz tabulka č. 2, hodnoty pro noční dobu $L_{Aeq,1h}$ až 80,7 dB. Proto i Velká Británie zvolna ustupuje od nejprísnejšího hodnocení podle slyšitelnosti a uplatňuje lokálně doporučené hodnoty.

Je však nutné vzít v úvahu, že ve Velké Británii není všeobecně přijatá metodika měření a hodnocení hluku a místní úřady tak používají různé metodiky, stejně tak jako další evropské státy používají pro doporučené hodnoty hluku jiné určující ukazatele (deskripty) hluku a rozdílné hodnotící časové intervaly viz tabulka č. 11 (DEFRA, 2005).

Zároveň jsou v tabulce č. 11 uvedeny hodnoty limitů pro Českou a Slovenskou republiku (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.; Vyhláška č. 549/2007 Zz., 2007).

Z důvodu takto rozdílných akustických parametrů nelze jak naměřené hodnoty hluku, tak doporučené limitní hodnoty mezi sebou porovnávat. Náš soubor hodnot z měření expozice osob nezúčastněných na hudebních produkcích je tak poměrně unikátní, protože při měření byla použita stejná strategie, shodná metodika a hodnocení.

Tabulka č. 11. Evropské doporučené hodnoty hluku ze zábavní činnosti u chráněných staveb

Země	Určující ukazatel hluku (deskriptor)	Doporučená hodnota [dB]	Poznámka
Švýcarsko	$L_{Aeq,10s}$	34	
Německo	L_{Aeq}	40 až 45	
Francie	L_{Aeq}	není	
Itálie	$L_{Aeq,1min}$	40	
Norsko	L_{AFmax}	25-45	
Holandsko	L_{Aeq} (19-07) L_{AFmax}	40 60	
Švédsko	L_{Aeq}	není	
Velká Británie	$L_{Aeq, 15min}$	65-75	max. 3 venkovní koncerty ročně
Pro doplnění uvedeny právně závazné hygienické limity v ČR a na SR			
Česká republika	$L_{Aeq,1h}$ $L_{Aeq,8h}$	35 45	Závazné limity platné do 1.12.2015, pak zrušeny
Slovenská republika	$L_{Aeq,noc}$ $L_{Aeq,den, večer}$	40 45	Vyhláška č. 549/2007 Zz., 2007

Výše uvedené rozdílné přístupy regulace potvrzují skutečnost, že fenomén „rušení a obtěžování“ hlukem je velmi individuální a závisí mimo jiné na celé řadě osobnostních a socioekonomických faktorů a nikoli pouze na fyzikálních parametrech akustického

signálu (Hellmuth a kol., 2016). To je třeba mít na paměti při hledání optimálního způsobu regulace tohoto typu hluku.

10.2. Stres a účinky nízkofrekvenčního hluku

V odborné literatuře jsem našla studie zaměřené na hodnocení charakteru, rozsahu a účinků expozice nízkofrekvenčnímu hluku, nicméně, počet odpovídajících experimentálních prací byl poměrně nízký a chyběly epidemiologické studie zaměřené na dlouhodobé expozice v podmínkách životního (komunálního) prostředí. Je zřejmé, že vážným problémem pro realizaci těchto studií je získání dostatečně početných souborů dlouhodobě nepracovně exponovaných osob. Většina výsledků v dosud provedených studiích byla tak získána po krátkodobých expozicích nízkofrekvenčnímu hluku (obvykle minutách až hodinách) v pracovním prostředí (Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2007, 2010) nebo v laboratořích (Walker et. al., 2016). Studie byly přitom majoritně zaměřeny na studium vlivu nízkofrekvenčního hluku na pozornost a soustředění exponovaných pracovníků (Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2007, 2010). Laboratorní experimenty s nízkofrekvenčním hlukem komplikují také technické problémy spojené s generováním příslušného podnětu a s přesným měřením expozice.

Značné množství studií je v současnosti zaměřeno na aktuální problematiku stresového vlivu pracovního prostředí, vyvolaného nadměrnou psychickou a senzorickou zátěží (EU-OSHA, 2016). Při objektivizaci stresu se studie často opírají o analýzy hladin látek, které se vyskytují ve slinách (slinných ukazatelů). Tyto ukazatele se prioritně používají při analýze psychosociálních faktorů (stresorů) pracovního prostředí, ale teoreticky je lze využít i pro analýzy expozičních scénářů v prostředí nepracovním (Grossi et al., 2005, Šimůnková a kol., 2009a, 2009b, Šušoliaková a kol., 2011). Počet prací, zabývajících se využitím slinných ukazatelů v oblasti komunálního (nepracovního) prostředí, je však zatím bohužel omezený. V souvislosti s hlukovou expozicí byly slinné ukazatele několikrát použity pro objektivizaci chronického stresu, vyvolaného expozicí hluku z dopravy (Ising H, Ising M, 2002, Ising et al., 2004, Babisch, 2006b).

10.3. Skupina účastníků

Prezentované studie se zúčastnilo celkem sto osob, což představuje, v porovnání s dosud publikovanými pracemi v dané oblasti výzkumu, rozsáhlou skupinu participantů. Na

druhou stranu je ale nutno poznamenat, že nábor osob pro studii byl proveden záměrným výběrem. Studie se nezúčastnily osoby (převážně ženy), které jako důvod odmítnutí účasti uváděly blíže nespecifikované nepříjemné pocity i obavy z vyvolání migrény (zmiňované také v odborné literatuře), které u nich vyvolává poslech typu hudební produkce, která byla v naší studii použita jako zdroj nízkofrekvenčního hluku pro expozici. Lze předpokládat, že u těchto osob by mohlo dojít k výraznější odpovědi na experimentální expozici (k výraznějším změnám hladin slinných ukazatelů). Znamená to, že právě nejcitlivější osoby se studie nezúčastnily. Tuto skutečnost je třeba brát v úvahu při interpretaci našich výsledků. V komunálním prostředí bývají nízkofrekvenčním hlukem z hudebních produkcí exponovány i nezúčastněné osoby, bez ohledu na jejich zdravotní stav a postoj k tomuto zdroji hluku.

Porovnání našich výsledků s literárními údaji bylo poněkud problematické, protože většina dosud publikovaných studií zaměřených na vliv nízkofrekvenčního hluku pracovala, na rozdíl od naší studie, s malými soubory mladých participantů (Nater et al., 2006a, Michaud et al., 2006, Wagner et al., 2010; Walker et al., 2016). Participanty byli většinou studenti, u nichž lze předpokládat vyšší psychickou odolnost. Výjimku představovala studie, která byla provedena na dvou věkově odlišných skupinách s průměry $21,8 \pm 2,1$ a $48,1 \pm 6,1$ roku (Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2010). Průměr druhé skupiny byl srovnatelný s průměrným věkem našich účastníků (51,8 roku). Další studie s věkově srovnatelnými participanty sledovala změny hladin slinných ukazatelů jako následek stresové reakce, avšak nikoliv po expozici hlukem, ale po aplikaci psychologického testu TSST (Trier Social Stress Test) u skupiny dětí, mladých dospělých (20 až 31 let) a starších dospělých (59 až 61 let) (Strahler et al., 2010).

Ve skupině našich respondentů bylo dle škály S.O.C. 46 osob nadprůměrně odolných, 18 osob průměrně odolných a 36 osob podprůměrně odolných. Lidé s nižší hodnotou nezdolnosti jsou obecně více ohroženi působením psychosociálních stresorů. V případě kombinovaného působení mikro stresorů a náročných životních událostí může dojít k pracovnímu, studijnímu nebo osobnímu selhávání, a to i při nadprůměrných intelektových schopnostech. Jedinci disponující vysokou úrovní S.O.C. se snadněji přizpůsobují prostředí a zachovávají si pocit životní spokojenosti a zdraví (Kebza, Šolcová, 2008).

Z údajů v tabulce č. 7 vyplývá, že v naší skupině převažovali odolnější jedinci (46%) nad zranitelnějšími (36%), přičemž 18% bylo průměrně zranitelných. Výsledky studie naznačují, že míra odolnosti se výrazněji neprojevila. Nicméně, nelze vyloučit, že průměrné negativní výsledky byly právě ovlivněny převahou odolných respondentů. Zajímavé bylo individuální behaviorální hledisko: někteří jedinci měli tendenci upadnout do mikrosnánku, někteří udávali, že je bass-beat efekt expozice stimuluje.

10.4. Zdroj hluku

Zdroj hluku použitý v této studii (nízkofrekvenční hudební hluk s tónovou složkou) byl z hlediska jeho fyzikálních parametrů unikátní. Je však nutné vzít v úvahu skutečnost, že i když byl použit akustický signál, který se svými charakteristikami blížil k parametrům reálné hudební produkce, výsledný efekt vnímání akustického signálu v místnosti byl do jisté míry odlišný od reálné situace, protože se neprojevil nepříjemný a rušivý efekt dunění a záznějí. Důvodem této odlišnosti bylo umístění zdroje hluku v místnosti expozice. Reálná expozice má zdroj hluku umístěn ve venkovním prostoru a do místnosti proniká pouze filtrací přes obvodový plášť budov, čímž se do jisté míry mění její charakter. Umístění takto hlasitého modelového zdroje hluku ve venkovním prostoru po mnoho hodin však nebylo reálné z důvodu šíření signálu na velké vzdálenosti. Technickým problémem bylo i získat zvukovou aparaturu s potřebně vysokým výkonem. V reakci na použité zvukové podněty mohl hrát roli i individuální postoj respondentů, kteří, na rozdíl od hluku z dopravy, nepovažují hudební hluk (byť intenzivní) za obtěžující.

Porovnání našich výsledků s údaji z odborné literatury bylo obtížné. V odborné literatuře jsem nenalezla studii, která by popisovala vliv hudební produkce (jako zdroje nízkofrekvenčního hluku – stresoru) na změny hladin stresových ukazatelů ve slinách. Ve studiích, které hladiny slinného kortizolu nebo α -amylázy nejčastěji sledovaly, nebyl jako akutní stresor využit hluk, ale psychologický test TSST (Kirschbaum et al., 1993, 1996, Nater et al., 2006b, Gordis et al., 2006, Strahler et al., 2010, Rashkova et al., 2012, Trueba et al., 2012, Engert et al., 2013, Skoluda et al., 2015). Teoreticky by výsledky naší studie bylo možné porovnávat (z hlediska charakteru stresoru-hluku) se studiemi, v nichž byl jako zdroj hluku použit záznam hluku z dopravy (Gallasch et al., 2016), jiný širokopásmový hluk (Hérbert, Lupien, 2009), bílý šum (Lee et al., 2010) nebo nízkofrekvenční hluk, jehož zdrojem však nebyl reálný zvuk, ale šum (Walker et al., 2016). Dopravní nebo

širokopásmový hluk však není zdrojem nízkofrekvenčního hluku, a proto i v tomto případě není porovnání příliš relevantní.

Použití experimentálního modelu komplikuje skutečnost, že subjektivní (stresová) biologická odezva na elektroakusticky zesilovanou hudební produkci je dána zhruba dvěma třetinami osobnostními charakteristikami exponované osoby (a vztahem k žánru hudby), nezávislými na akustických vlastnostech, a pouze zhruba jednou třetinou fyzikálními parametry hluku (Kroesen et al., 2008). Obecně je laboratorní testování považováno za spolehlivější posouzení respondenty, protože umožňuje expozici všech účastníků zvukem o stejných fyzikálních parametrech a stejné délce, což umožní přesně kvantifikovat rozdíl v odezvě exponované skupiny, avšak nevyhnutelně ztrácí parametry reálné expozice v terénu, kdy je originální akustický signál slyšen jednotlivými posluchači v jejich přirozeném prostředí (DEFRA, 2005). Tuto skutečnost je nutné uvážit zejména při interpretaci výsledků laboratorní expozice nízkofrekvenčnímu hluku, kdy může být odezva na fyzikální parametry hluku odlišná od expozice, ke které dochází v reálné situaci v bytech respondentů, což je dáno typickými vlastnostmi nízkofrekvenčního hluku danými i průnikem přes obvodový plášť budov (viz kapitola 2.2. Vlastnosti nízkofrekvenčního hluku).

10.5. Biochemické ukazatele

10.5.1. Slinný kortizol

Statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými odběry slin (fázemi) dokladují, že hladiny slinného kortizolu v průběhu dne klesaly, a tak odpovídaly v průměru standardnímu průběhu křivky denního cirkadiánního rytmu hladiny kortizolu (Kirschbaum, Hellhammer, 2000, Nater et al, 2007). Nejvyšší hladiny byly nalezeny v ranním vzorku slin a v dalších třech následujících vzorcích významně klesaly. Z toho lze usuzovat, že půlhodinová expozice nízkofrekvenčnímu hluku neměla na hladinu slinného kortizolu významný vliv. Naše výsledky se liší od výsledků většiny studií, které pro zhodnocení stresové reakce použily slinné indikátory. Jak bylo ale výše uvedeno, tyto studie disponovaly odlišnými zdroji expozice. Zvýšená poexpoziční hladina kortizolu ve slinách tak byla například nalezena po dvacetiminutové expozici širokopásmovým hlukem (Hérbert, Lupien, 2009, Strahler et al, 2010), po aplikaci TSST ve skupině mladých mužů (Nater 2006) i ve skupině adolescentů (Gordis et al., 2006). Naše výsledky jsou naopak v souladu se

závěrem studie Walker et. al., 2010, která při expozici nízkofrekvenčnímu a vysokofrekvenčnímu hluku nezjistila významné změny sliného kortizolu ve skupině 10 mladých mužů.

Naše experimentální hluková studie neprokázala statisticky významné změny cirkadiánního rytmu slinného kortizolu vlivem expozice nízkofrekvenčnímu hluku, avšak přinesla zajímavé výsledky z hlediska porovnání hladin mezi pohlavími a věkovými skupinami.

U našich 100 účastníků byly celkové hladiny slinného kortizolu mužů a žen srovnatelné. Obecné údaje o hladinách slinného kortizolu u mužů a žen zatím nejsou zcela jednotné. Některé práce uvádějí vyšší hladiny kortizolu u žen (Kitzlerová a kol., 2015), jiné u mužů (Susoliakova et al., 2014).

V celkové hladině kortizolu nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi posuzovanými věkovými skupinami <18;30> let, <31;60> let a >60 let bez ohledu na pohlaví, což koresponduje s nálezem v jiné studii u věkových skupin <40 a >40, kde rozdíly celkového kortizolu vyjádřené jako Area Under Curve (AUC) (g) byly rovněž nevýznamné (Susoliakova et al., 2014).

Nebyl zjištěn ani statisticky významný rozdíl mezi skupinou mužů a žen ve věkových skupinách (interakce věku x pohlaví), což nekoresponduje s nálezem studie Strahler et al, 2010, kde interakce věk x pohlaví vykazovala vyšší hladinu kortizolu u mužů ve věkové kategorii 59 až 61 let. V našich výsledcích měly ženy ve věkové skupině <31;60> let vyšší hladiny kortizolu než muži, avšak rozdíl nebyl statisticky významný.

U žen byla, na rozdíl od mužů, zjištěna statisticky významná závislost časového průběhu hladin kortizolu na věku. U žen jsme zaznamenali významně rozdílný průběh poklesu hladin u věkových skupin, kdy se strmost poklesu hladin lišila podle věku. Nejstrmější pokles měly nejmladší ženy ve věkové skupině <18;30> let. Naopak u mužů měla nejmladší věková skupina <18;30> let nejméně strmý pokles křivky. Tyto změny u mužů však nebyly statisticky významné. Strmost křivky vypovídá o tempu poklesu hladin kortizolu, přičemž pomalejší tempo poklesu kortizolu přes den může souviset jak s chronickým, tak i s akutním psychosociálním stresem. Strmější pokles bývá obvykle spojen s lepším zdravím, a to psychosociálním i fyzickým (Adam et al., 2006, Adam, Kumari, 2009). Z výsledků je možné tedy dovodit, že naši účastníci byli zdravější, dobře se cítili a pozitivně naladěni lidé.

Souhrnně, akutní krátkodobá expozice nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou nevyvolala významné změny cirkadiánního rytmu slinného kortizolu u žádné ze sledovaných věkových kategorií. Ovlivněna nebyla ani nejstarší skupina osob nad 60 let, u které lze předpokládat zvýšenou citlivost a sníženou odolnost vůči stresovým faktorům. Je možné se domnívat, že tento typ hluku při krátkodobé expozici akutní stresovou odezvu nevyvolává. Pravděpodobným důvodem absence stresové reakce je, že příliš krátká expoziční doba nevede k přetížení adaptačních mechanismů. Nelze zapomínat ani na možný vliv struktury experimentálního souboru, který byl tvořen relativně odolnými jedinci (viz výsledky S.O.C.). Méně odolní jedinci, citlivější na sledovaný faktor (nízkofrekvenční hluk), účast odmítli.

Hladina slinného kortizolu tedy pravděpodobně nepředstavuje vhodný ukazatel stresové reakce na akutní krátkodobou expozici osob nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou. Nelze ovšem vyloučit, že cirkadiánní křivka kortizolu by mohla být ovlivňována dlouhodobou opakovanou expozicí nízkofrekvenčnímu hluku chronického charakteru (Anisman et al., 2001, Schreiber, 2004, Koh, Koh, 2007). Tato problematika by mohla být pokračováním výzkumu účinků nízkofrekvenčního hluku a možností jejich monitorování.

10.5.2. Slinná α -amyláza

Statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými odběry slin (fázemi) bez ohledu na pohlaví dokladují, že hladiny slinné α -amylázy v průběhu dne odpovídaly v průměru standardnímu průběhu křivky denního cirkadiánního rytmu hladiny α -amylázy. Hladiny slinné α -amylázy z dopoledních odběrů měly stoupající trend, večerní pokles nebyl statisticky významný. Hodnocení výsledků samostatně pro ženy a muže je však rozdílné. U žen změny v průběhu hladin slinné α -amylázy nedosáhly statistické významnosti, naopak u mužů tyto změny byly statisticky významné.

Vzhledem k řídkému vzorkování (celkově 4 odběry) nelze tento výsledek přesněji interpretovat. Lze učinit závěr, že průběh hladin α -amylázy ve vzorcích je pravděpodobně v souladu s cirkadiánním rytmem, kdy v podvečerních hodinách dochází již k pozvolnému poklesu hladin α -amylázy (Nater et al., 2007). Zjištěný pokles v podvečerním odběru tedy nelze spolehlivě dát do souvislosti s expozičním scénářem. Publikované studie jsou však především zaměřeny na zkoumání ranních koncentrací, takže informace o večerním

průběhu jsou velmi omezené. Hladina vzorku po expozici byla statisticky nevýznamně vyšší než před expozicí, a to bez ohledu na pohlaví, což je v souladu se závěrem studie Walker et al., 2016, která ve skupině 10 mladých mužů nezjistila významné změny v hladinách slinné α -amylázy při expozici nízkofrekvenčnímu a vysokofrekvenčnímu hluku. Nicméně, Gallasch et al., 2016 publikovali významné zvýšení hladin α -amylázy již po dvaceti minutové expozici hluku z železniční a silniční dopravy o hladině $L_{Aeq} = 75$ dB.

Ze studie Natera a Rohledera, 2009 vyplývá, že odezva na stresovou situaci by u slinného kortizolu měla mít vrchol 10 až 20 minut po stresové události, zatím co slinná α -amyláza dosahuje vrcholu obvykle rychleji (Nater, Rohleder, 2009). Teoreticky tedy délka naší expozice (30 minut) měla být pro vyvolání akutní stresové odpovědi objektivizované změnou hladin α -amylázy dostačující. Naše experimentální hluková studie neprokázala staticky významné změny cirkadiálního rytmu slinné α -amylázy vlivem expozice nízkofrekvenčnímu hluku, avšak přinesla zajímavé výsledky z hlediska porovnání hladin mezi pohlavími a věkovými skupinami a interakcemi.

Nalezli jsme významně vyšší celkové hladiny slinné α -amylázy u žen. Tento nález koresponduje s nálezem vyšších hladin α -amylázy u žen oproti mužům ve studii Rutherford-Marwick et al., 2017. Naopak studie He et al., 2014 rozdíl pohlaví u koncentrací α -amylázy neprokázala.

Na rozdíl od slinného kortizolu byl nalezen významný rozdíl v celkové hladině α -amylázy mezi věkovými skupinami <18;30> let, <31;60> let a >60 let bez ohledu na pohlaví, kdy s věkem hladiny stoupaly. Nejnížší celkové hladiny byly zjištěny u osob <18;30>, nejvyšší u osob >60 let, přičemž rozdíly jsou statisticky významné. Porovnání s jinými výsledky studií bylo obtížné, protože jsme nenalezli studie porovnávající hladiny α -amylázy pro tyto věkové skupiny dospělých osob v průběhu dne.

Zajímavým nálezem byl nevýznamný pokles hladiny α -amylázy ve vzorku odebraném bezprostředně po expozici u nejstarší věkové skupiny >60 let, zatím co u věkových skupin <18;30> a <31;60> došlo u tohoto vzorku k nevýznamnému nárůstu. Vzhledem k cirkadiálnímu cyklu α -amylázy (Nater et al., 2007) by se u nejstarší věkové skupiny >60 let mohlo jednat o statisticky nevýznamný pokles, který je pravděpodobně v průběhu denního cyklu běžný.

Při hodnocení interakce věku a pohlaví jsme zjistili statisticky významné rozdíly mezi skupinou žen a mužů. U mužů s věkem hladiny α -amylázy významně stoupaly, u žen se neměnily. Ve věkových skupinách <18;30> let a <31;60> let měly ženy statisticky významně vyšší hladiny celkové α -amylázy. Ve studii Strahler et al, 2010 tento rozdíl mezi muži a ženami statisticky významný nebyl. V nejstarší věkové kategorii >60 let měly ženy naopak nižší hladinu α -amylázy než muži, přičemž tento rozdíl je na hranici statistické významnosti.

Výsledky interakce fáze x věkové skupiny však ukazují, že průběh závislosti hladin α -amylázy na věku je u žen a mužů významně odlišný. U nejstarších mužů byly vždy vyšší hladiny α -amylázy než u mladších věkových skupin, což je opačný výsledek než u studie Strahler et al., 2010. Přičemž stejně jako u žen byl nejmenší rozdíl v hladinách u vzorku před a po expozici u nejstarší věkové skupiny, což koresponduje se závěrem studie Strahler et al., 2010.

Souhrnně, akutní krátkodobá expozice nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou nevyvolala významné změny cirkadiánního rytmu slinné α -amylázy u žádné ze sledovaných věkových kategorií. Ovlivněna nebyla ani nejstarší skupina osob nad 60 let, u které lze předpokládat zvýšenou citlivost a sníženou odolnost vůči stresovým faktorům. Je možné se domnívat, že tento typ hluku akutní stresovou odezvu nevyvolává. Obdobně jako u slinného kortizolu by mohla být dalším důvodem absence stresové reakce příliš krátká expoziční doba, během které ještě nedochází k přetížení adaptačních mechanismů. Nelze zapomínat ani na možný vliv struktury experimentálního souboru, který byl tvořen relativně odolnými jedinci (viz výsledky S.O.C.). Méně odolní jedinci, citlivější na sledovaný faktor (nízkofrekvenční hluk), účast odmítli.

Hladina slinné α -amylázy tedy pravděpodobně nepředstavuje vhodný ukazatel stresové reakce na akutní krátkodobou expozici osob nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou. Nelze ovšem vyloučit, že cirkadiánní křivka slinné α -amylázy by mohla být ovlivňována dlouhodobou opakovanou expozicí nízkofrekvenčnímu hluku chronického charakteru. Tato problematika by mohla být pokračováním výzkumu účinků nízkofrekvenčního hluku a možností jejich monitorování.

10.6. Fyziologické ukazatele

10.6.1. Tepová frekvence

V našich testovaných skupinách představovaných skupinou všech osob a skupinou žen docházelo k významným poklesům tepové frekvence měřené v časových intervalech v průběhu expozice v porovnání s tepovou frekvencí měřenou těsně před expozicí. Ve skupině mužů ke statisticky významným změnám nedošlo.

Pokles tepové frekvence tak odpovídá výsledkům studií zkoumajících vliv nepříjemné, atonální hudby ve srovnání s hudbou příjemnou, harmonickou. Bylo zjištěno, že nepříjemná hudba vyvolala oproti příjemné významný pokles tepové frekvence (Sammler et al., 2007; Proverbio et al., 2015). Pokles tepové frekvence vyvolala též excitující hudba oproti hudbě uklidňující (Iwanaga et al., 2005). Některé studie však významnost vlivu na kardiovaskulární systém neprokázaly. Příkladem může být studie, ve které bylo nalezeno pouze nevýznamné zpomalení tepové frekvence vlivem expozice hudby, která u posluchačů navozovala smutnou náladu (Etzel et al., 2006).). Naše výsledky naznačují, že ženy by mohly být citlivější na nízkofrekvenční hluk (Leventhall, 2003, 2005), což koresponduje se zhoršením jejich výsledků zásahového testu. Vyšší citlivost k expozici však nepodpořily nálezy biochemických ukazatelů, u kterých nedošlo ke změnám cirkadiánních křivek.

Některé studie na druhou stranu prezentovaly zvýšení tepové frekvence při poslechu rychlejší hudby a její snížení u hudby uklidňující (Bernardi et al., 2006). Další studie našly zvýšení tepové frekvence při poslechu hudby typu techno, metal, hip-hop (Nater et al., 2006b; Nilsson et al., 2005).

Náš výsledek u mužů koresponduje se studiemi, u nichž nedošlo k významným změnám tepové frekvence při poslechu hudby příjemné a nepříjemné (Krabs et al., 2015), při expozici průmyslovému hluku o hladině 90 dB (Lu et al., 2018), ani poslechu šumů o hladině až 80 dB (Lee et al. 2010). Naopak Walker et al., 2016 zjistili významný pokles tepové frekvence při expozici 10 mladých mužů nízkofrekvenčnímu a vysokofrekvenčnímu hluku.

Z literatury vyplývá, že výsledky studií nejsou jednoznačné a mají i k protichůdné závěry. Navíc jsou zaměřeny na porovnání expozic různými žánry hudby se zaměřením na emoční obsah/účinky, a nikoliv na přítomnost nízkofrekvenčního hluku. Vliv mohou mít i metodologické rozdíly a také skutečnost, že většina publikovaných studií byla provedena

na malých skupinách (řádově desítky účastníků) mladých, zdravých respondentů (vysokoškolští studenti). Problémem pro porovnání našich výsledků s literaturou je, že většina studií byla zaměřena na sledování podrobných kardiologických modulací, zatím co v naší studii byla tepová frekvence použita zejména jako kontrolní ukazatel sledování stavu respondentů při expozici, a proto jim při vyhodnocování nebyla věnována větší pozornost. V naší experimentální hlukové studii byly hlavními sledovanými parametry hladiny biochemických ukazatelů.

10.6.2. Krevní tlak

U diastolického tlaku měřeného v průběhu expozice nedošlo k významné změně v porovnání s předexpozičním měřením v žádné z testovaných skupin.

U tlaků systolických měřených v průběhu expozice došlo k významným poklesům v porovnání s předexpozičním měřením ve všech testovaných skupinách.

Naše výsledky tak nekorespondují s nálezy studií zaměřených na sledování vlivu hudby na krevní tlak, kdy bylo zjištěno zvýšení systolického i diastolického krevního tlaku u poslechu atonální hudby (Proverbio et al., 2015) nebo při poslechu rychlejší hudby, a naopak snížení u uklidňující hudby (Bernardi et al., 2006). Významné zvýšení systolického tlaku při poslechu agresivní, ale i relaxační hudby (oproti tichu) prokázali ve své studii i Hilz et al., 2014. Významné zvýšení systolického a diastolického tlaku bylo nalezeno po dvacetiminutové expozici průmyslovým hlukem o hladině akustického tlaku A 90 dB (Lu et al., 2018). Naproti tomu Lee et al., 2010 neprokázali změny krevního tlaku při expozici šumu o hodnotách akustického tlaku A až 80 dB. Změny neprokázali ani Walker et al., 2016 při expozici nízkofrekvenčnímu a vysokofrekvenčnímu hluku nezjistila změny.

U krevního tlaku stejně jako v případě tepové frekvence však jsou k dispozici pouze výsledky studií zaměřených na porovnání expozic různými žánry hudby se zaměřením na emoční obsah/účinky, nikoliv na přítomnost nízkofrekvenčního hluku. Vliv mohou mít pochopitelně i metodologické rozdíly.

Jedním z možných vysvětlení našeho výše uvedeného nálezu by mohla být skutečnost, že respondenti očekávali horší zvukové i somatické efekty spojené expozice. Dle jejich vlastního vyjádření v průběhu poslechu hudby zjistili, že efekt hudby není tak nepříjemný, jak očekávali a uklidnili se. Je zřejmé, že vliv mohla mít i absence některých typických

vlastností nízkofrekvenčního hluku (dunění a záznějí), které nebylo možné v laboratorních podmínkách nasimulovat.

10.7. Zásahový test

V případě zásahových testů došlo k významné změně při porovnání výsledků před expozicí a v polovině expozice (v 16. min) u žen, při porovnání výsledků před expozicí a po expozici (v 31. min) a u všech osob a rovněž u žen. U mužů k významným změnám nedošlo. Z tohoto pohledu je výsledky testu u skupiny žen možné interpretovat jako zhoršení soustředění, což koresponduje s výsledkem změn tepové frekvence, ale nekoresponduje s nálezem slinných ukazatelů.

Testovací zařízení bylo vyvinuto výlučně pro potřeby FVZ UO. Výstupy proto nebyly publikovány v odborných časopisech a byly pouze součástí interních zpráv. S tímto vědomím byl zásahový test použit pouze jako vedlejší doprovodný zdroj možných informací. Porovnání s publikovanými výsledky je proto obtížné. Naše výsledky u žen lze označit za shodné se závěry dotazníkové studie Ratnapalan et al., 2011, ve které vysoké hladiny hluku (až 80 dB) působily na lékaře pediatrického oddělení jako stresující, ovlivňující interakci, komunikaci a výuku probíhající mezi lékaři a mediky. Výsledky u mužů zase korespondují se závěry studie Folscher et al., 2015, ve které byl porovnáván rozdíl v rozhodování lékařů pracujících v hlučném prostředí (hladina akustického tlaku A 80 – 85 dB) a tichém prostředí (hladina akustického tlaku A 40-50 dB) na základě dotazníků. Během takto vysoké expozice hluku se výsledky plnění duševních úkolů statisticky nelišily, pouze v hlučném prostředí byl významně delší čas na vypracování odpovědí. Vzhledem k rozdílným metodikám je však výsledky nutné porovnávat velmi opatrně s uvědomněním si rozdílnosti aplikovaných metodik sledování změn pozornosti při hlukové zátěži.

ZÁVĚR

Akutní krátkodobá expozice nízkofrekvenčnímu hluku ($L_{Aeq,T}$ cca 80 dB) s tónovou složkou nevyvolala za podmínek prezentované studie u žádné ze sledovaných věkových kategorií participantů významné změny cirkadiánního rytmu slinného kortizolu a α -amylázy ve slinách. U žen jsme po expozici zaznamenali významný pokles tepové frekvence, systolického tlaku a schopnosti soustředění. U mužů jsme zaznamenali významný pokles systolického tlaku.

Sledované biologické ukazatele se proto nejeví jako vhodné pro účely objektivizace stresové odpovědi na krátkodobou expozici nízkofrekvenčnímu hluku s tónovou složkou.

Ukazuje se, že s ohledem na specifické účinky nízkofrekvenčního hluku nelze dlouhodobé působení o nižších hladinách akustického tlaku nahradit krátkodobým působením intenzivního nízkofrekvenčního hluku o podstatně vyšších hladinách akustického tlaku.

Pro přímou aplikaci uvedeného závěru do terénní praxe je však nutno vzít v úvahu některé nejistoty, kterými je zatížen. Třicetiminutová expozice mohla představovat příliš krátkou expoziční dobu, během které ještě nedošlo k přetížení adaptačních mechanismů a spuštění stresové reakce. Experimentální soubor byl tvořen psychicky odolnějšími jedinci, protože senzitivnější jedinci účast odmítli. Subjektivní (stresová) biologická odezva na elektroakusticky zesilovanou hudební produkci je dána zhruba dvěma třetinami osobnostními charakteristikami exponované osoby (a vztahem k žánru hudby), nezávislými na akustických vlastnostech, a pouze jednou třetinou fyzikálními parametry hluku. A konečně, s ohledem na nižší hladiny hluku pronikajícího do obydlí, se jako nejvýznamnější stresový faktor pravděpodobně nebude projevovat celková ekvivalentní hladina akustického tlaku, ale obtěžující akustické projevy nízkofrekvenčního hluku v uzavřeném prostoru (dunění, rázy) a pocity bezmocnosti exponovaných osob tuto situaci zvládnout a řešit (tento scénář nelze realizovat v modelové expozici).

Poznatky získané v průběhu studie byly již využity při formulování odborného návrhu hlukových paragrafů novely zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, která vešla v platnost 1. 12. 2015 (příloha č. 4). Hluk z hudebních produkcí ve venkovním prostoru jako ojedinělá a krátkodobá expozice byl vyjmut z kompetence orgánů ochrany veřejného zdraví

(Krajských hygienických stanic) a jeho regulace přešla plně do kompetence obcí. Na základě odborných poznatků byla NRL vypracována odborná pomůcka pro obce, která byla vydána Ministerstvem zdravotnictví jako „Odborné doporučení pro regulaci expozice hluku z produkce hudby pořádané ve venkovním prostoru“ (Ministerstvo zdravotnictví ČR, NRL, 2016), příloha č. 5.

Návrh dalšího postupu

Prezentovaná experimentální studie přinesla základní informace/podklady nutné pro pokračování výzkumu v podobě rozsáhlejší terénní studie v exponované obytné zástavbě v okolí vícedenních hudebních festivalů, při kterých je nezúčastněná populace exponována nízkofrekvenčním hlukem s tónovou složkou (nejčastěji jsou festivaly pořádány v Královéhradeckém kraji). Terénní studie bude koncipována jako průřezová epidemiologická studie s přibližně stejnými věkovými skupinami respondentů jako ve studii experimentální. Budou sledovány hladiny slinného kortizolu a slinné α -amylázy v období bez zátěže nízkofrekvenčním hlukem a v období konání festivalů.

LITERATURA

Adam EK, Hawkley LC, Kudielka BM, Cacioppo JT. Day-to-day dynamics of experience-cortisol associations in a population-based sample of older adults. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2006;103:17058-17063.

Adam EK, Kumari M. Assessing salivary cortisol in large- scale, epidemiological research. *Psychoneuroendocrinology* 2009. 34: 1423-1436.

Adam EK, Gunnar MR. Relationship functioning and home and work demands predict individual differences in diurnal cortisol patterns in women. *Psychoneuroendocrinology* 2001; 26(2):189-208.

Anisman H, Griffiths J, Matheson K, Ravidran AV, Merali Z. Posttraumatic stress symptoms and salivary cortisol levels. *Am J Psychiatry.* 2001. 158:1509-1511.

Antonovsky A. Health, stress, and coping. San Francisco : Jossey-Bass Publishers, 1985a.

Antonovsky A. The life cycle, mental health and sense of coherence. *Israel Journal of Psychiatry.* 1985b, 22: 273-280.

Antonovsky A. Unraveling the mystery of health - how people manage stress and stay well. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1987.

Antonovsky A. The structure and properties of the Sense of Coherence Scale. *Social Science and Medicine*, 1993, 36: 725-733.

Argalášová Ľ, Filová A, Hirošová K, Jurkovičová J, Ševčíková Ľ. Listening to personal music players, sound pressures and risks. *Noise and Vibration in Practice.* STU Bratislava. 2015(a):5-10.

Argalášová Ľ, Filová A, Hirošová K, Vondrová D, Samohýl M, Jurkovičová J, Ševčíková Ľ. The study on usage of personal music players among university students in Slovakia. *Postepy Akustyki* 2015. Wroclaw. Polskie Towarzystwo Akustyczne 2015(b):51-62. ISBN 978-83-921663-6-8.

Aschbacher K, O'Donovan A, Wolkowitz OM, Dhabhar FS, Su Y, Epel E. Good stress, bad stress and oxidative stress: Insights from anticipatory cortisol reactivity. *Psychoneuroendocrinology.* 2013 Sep 38(9): 1698-1708.

Babisch W. Health aspects of extra-aural noise research. *Noise Health.* 2004. 6(22):69-81.

Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk: Updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. *Noise and health.* 2006a. 8:1-29.

Babisch W. HYENA (Hypertension and Exposure to Noise Near Airports) - Saliva Cortisol and Exposure to Aircraft Noise in Six European Countries. WHO. 2006b.

Babisch W. Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise Health.* 2008. 10(38):27-33.

Bartůňková S. Stres a jeho mechanismy. Univerzita Karlova v Praze. Praha 2010. ISBN 978-80-246-1874-6.

Bálková O. Kortizol, ACTH [online]. Roche s.r.o. Diagnostics Division. 2001. Dostupné z: https://www.roche-diagnostics.cz/download/prolekare/kortizol_prezentace_web_June08.pdf.

Beach E, Williams W, Gilliver M. Estimating young Australian adults' risk of hearing damage from selected leisure activities. *Ear Hear*. 2013;34:75–82.

Berglund B, Lindvall T, Schwela DH, Goh K-T, editors. Guidelines for Community Noise. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2000 [Guideline Document (ISBN: 9971-88-770-3)]. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/activities/development-of-who-environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>.

Bernardi L, Porta C, Sleight P. Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and no-musicians: the importance of silence. *Heart*. 2006 Apr; 92(4):445-452.

Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc Natl Acad Sci USA*. A. 2001;98: 11818-11823.

Clow A, Thorn L, Evans P, Hucklebridge F. The awakening cortisol response: Methodological issues and significance. *Stress* 2004;7:29-37.

ČSN 73 0532 Akustika-Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky. ÚNMZ. 2014, 2017.

ČSN ISO 1996-1 Akustika -Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení. ÚNMZ. 2004, 2017.

ČSN ISO 1996-2 Akustika -Popis, měření a posuzování hluku prostředí - Část 2: Určování hluku prostředí. ÚNMZ. 2009.

ČSN EN 61672-1 Elektroakustika - Zvukoměry-Část 1: Technické požadavky. ÚNMZ. 2003, 2014.

ČSN EN 61260-1 Elektroakustika - Oktávové a zlomkooktávové filtry. ÚNMZ. 1997, 2014.

Davies H, van Kamp I. Noise and cardiovascular disease: A review of the literature 2008-2011. *Noise Health*. 2012. 14(61):287-291.

DEFRA.Noise from Pubs and Clubs, Phase I, Report for DEFRA, University of Salford, A Greater Manchester University. October 2005. Dostupné z: <http://www.defra.gov.uk/environment/noise/research/pubs-clubs-hase1/pubsclubsphase1.pdf>.

EC-European commission. Směrnice 2002/49/EC o řízení a snižování hluku v životním prostředí Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise (Environmental Noise Directive – END). 2002.

EC-European commission. Research for a Quieter Europe in 2020. An Updated Strategy Paper of the CALM II Network - Sep. 2007. ISBN 3-200-00224-7.

EC-European commission. Commission staff working document. Executive summary of the refit evaluation of the Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise. Encl.:SWD(2016) 455 final, 2016.

EC-JRC Scientific and Policy Reports, Final report ENNAH-European Network on Noise and Health, EU Project no. 226442, FP-7-ENV-2008-1, 2013; ISBN 978-92-79-28593-6. ISSN 1831-9424.

EEA. Good practice guide on noise exposure and potential health effects, EEA –TR No. 11/2010; ISSN 1725-2237.

Engert V, Efanov SI, Duchesne A, Vogel S, Corbo V, Pruessner JC. Differentiating anticipatory from reactive cortisol responses to psychosocial stress. *Psychoneuroendocrinology*. 2013 Aug 38(8): 1328—1337.

Etzel JA, Johnsen EL, Dickerson J, Tranel D, Adolphs R. Cardiovascular and respiratory responses during musical mood induction. *Int J Psychophysiol*. 2006 Jul;61(1):57-69.

EU-OSHA-Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Psychosociální rizika a stres při práci [online]. 2016. Dostupné z: <https://osha.europa.eu/cs/themes/psychosocial-risks-and-stress>.

Feldmann J, Pitten FA. Effect of low frequency noise on man-a case study. *Noise Health* 2004 7(25);8:23-28.

Folscher LL, Goldstein LN, Wells M, Rees D. Emergency department noise: mental activation or mental stress? *Emerg Med J*. 2015 Jun;32(6):468-73.

Gallasch E, Raggam RB, Cik M, Rabensteiner J, Lackner A, Piber B, Marth E. Road and rail traffic noise induce comparable extra-aural effects as revealed during a short-term memory test. *Noise Health* 2016;18:206-213.

Gjestland T, Tronstad TV. The efficacy of sound regulations on the listening levels of pop concerts. *J Occup Environ Hyg*. 2017 Jan;14(1):17-22.

Gordis EB, Granger DA, Susman EJ, Trickett PK. Asymmetry between salivary cortisol and α -amylase reactivity to stress:Relation to aggressive behavior in adolescents. *Psychoneuroendocrinology*. 2006; 31:976-987.

Granger DA. Integrating of salivary biomarkers into behavioral medicine research: practical aspects of study design, sample collection and assay. Presented at the Annual Meeting for the Society for Behavioral Medicine, Nashville, 2000.

- Granger DA, Kivlighan KT, El-Sheikh M, Gordis E, Stroud LR. Salivary alpha-amylase in biobehavioral research: Recent developments and applications. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2007a;1098:122–144.
- Granger DA, Blair C, Willoughby M, Kivlighan KT, Hibel LC, Fortunato CK. Family live Project Investigators, et al. Individual differences in salivary cortisol and alpha-amylase in mothers and their infants: relation to Tobago smoke exposure. *Dev Psychobiol*. 2007b Nov; 49(7): 692-701.
- Griefahn B, Robens S. Experimental studies on the effects of nocturnal noise on cortisol awakening response. *Noise Health* 2010;12:129-136.
- Grossi G, Perski A, Ekstedt M, Johansson T, Lindström M, Holm K. The morning salivary cortisol response in burnout. *Journal of Psychosomatic Research* 2005; 59: 103–111.
- Havránek J a kol. *Hluk a zdraví*. Avicenum Praha 1990. ISBN 80-201-0020-2.
- Havránek J. *Hudební hluk*. *Vesmír* 76, 167, 1993/3. ISSN 1214-4029.
- He CS, Bishop NC, Handzlik MK, Muhamad AS, Gleeson M. Sex differences in upper respiratory symptoms prevalence and oral-respiratory mucosal immunity in endurance athletes. *Exerc Immunol Rev*. 2014;20:8-22.
- Hellhammer DH, Wüst S, Kudielka BM. Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*. 2009 Feb;34(2):163-171.
- Hellmuth T, Potužníková D, Junek P, Fiala Z. Obtěžování hlukem: Zdravotní problém nebo akustický komfort? *Hygiena*. 2016. 61(1):33-35.
- Hellmuth T, Potužníková D, Michal J. *Hluk v komunálním prostředí*. e-learning kurz. 2013. <http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a.html>.
- Hérbert S, Lupien SJ. Salivary cortisol levels, subjective stress, and tinnitus intensity in tinnitus sufferers during noise exposure in the laboratory. *Int J Hyg Health*. 2009; 212(1):37-44.
- Hibel LC, Granger DA, Kivlighan KT, Blair C. Individual differences in salivary cortisol: associations with common over-the-counter and prescription medication status in infants and their mothers. *Horm Behav*. 2006 Aug; 50(2):293-300.
- Hilz MJ, Stadler P, Gryc T, Nath J, Habib-Romstoeck L, Stemper B, Buechner S, Wong S, Koehn J. Music induces different cardiac autonomic arousal effects in young and older persons. *Auton Neurosci*. 2014 Jul;183:83-93.
- Hlína J, Geryk E. *Riziko hluku v životním a pracovním prostředí*. IDV SZP Brno. 1991. ISBN 80-7013-094-6.
- Hodges DA. Psychophysiological measures. In Juslin PN and Sloboda JA (eds) *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*. Oxford, Oxford University Press. 2010. 279–312.

- Chanda ML, Levitin DJ. The neurochemistry of music. *Trends. Cogn. Sci.* 2013,17: 179–193.
- Ising H, Ising M. Chronic cortisol increases in the first half of the night caused by road traffic noise. *Noise Health* 2002; 4(16):13-21.
- Ising H, Lange-Asschenfeldt H, Moriske H, Born J, Eilts M. Low frequency noise and stress: Bronchitis and cortisol in children exposed chronically to traffic noise and exhaust fumes. *Noise Health* 2004; 6(23):21-28.
- ISO 1996-2:2017, Acoustic-Description, measurement and assessment of environmental noise-Part 2: Determination of sound pressure levels. ISO 2017. ICS 17.140.01;13.140.
- Iwanaga M, Kobayashi A, Kawasaki C. Heart rate variability with repetitive exposure to music. *Biol Psycholol.* 2005 Sep;70(1):61-6.
- Jones K. Environmental noise and health: a review. ERCD REPORT 0907. London 2010.
- Junek P, Potužníková D, Hellmuth T, Píša L, Kučera I. Nízkofrekvenční hluk z venkovní produkce hudby a jeho vliv na zdraví nezúčastněných osob v okolí. *Hygiena.* 2010. 55(2):46-53.
- Kebza V, Šolcová I. Hlavní koncepce psychické odolnosti. *Československá psychologie.* 2008. 52, 1, 1-19.
- Khalfa S, Bella SD, Roy M, Peretz I, Lupien SJ. Effects of relaxing music on salivary cortisol level after psychological stress. *Ann N Y Acad Sci.* 2003; 999: 374-376.
- Kirschbaum C, Hellhammer DH. Noise and stress - salivary cortisol as a non-invasive measure of allostatic load. *Noise Health* 1999;1:57-65.
- Kirschbaum C, Hellhammer DH. Salivary cortisol. *Encyclopedia of Stress.* 2000;3:379-383.
- Kirschbaum C, Pirke K.M., Hellhammer D.H. The 'Trier Social Stress Test'- a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiol.* 1993.28, 76-81.
- Kirschbaum C, Platte P, Pirke K.M., Hellhammer D.H. Adrenocortical activation following stressful exercise: further evidence for attenuated free cortisol responses in women using oral contraceptives. *Stress Med.* 1996.12, 137-143.
- Kitzlerová E, Fišar Z, Zvěřová M, Jiráček R, Hroudová J, Raboch J. Význam homocysteinu a kortizolu v diagnostice depresivní poruchy-výsledky z výzkumného záměru. *Čes a slov Psychiatr.* 2015;111(6): 275 -281.
- Koh QSD, Koh HCHG. The use of salivary biomarkers in occupational and environmental medicine. *Occup Environ Med* 2007. 64: 202-210.

- Krabs RU, Enk R, Teich N, Koelsch S. Autonomic effects of music in health and Crohn's disease: the impact of isochronicity, emotional valence, and tempo. *PLoS One*. 2015 May 8;10(5).
- Kroesen M, Molin EJE, van Wee B. Testing a theory of aircraft noise annoyance: A structural equation analysis. *J. Acoust. Soc. Am.* 2008 Jun; 123(6):4250-60. doi: 10.1121/1.2916589.
- Křivohlavý J. Nezdolnost v pojetí SOC. *Čs. Psychol.* 1990. roč. 34, č. 6: 511–517.
- Křivohlavý J. *Psychologie zdraví*. Portál. Praha 2001. ISBN 80-7178-774-4.
- Labbé E, Schmidt N, Babin J, Pharr M. Coping with Stress: The Effectiveness of Different Types of Music. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2007. 32: 163-168.
- Lee GS, Chen ML, Wang GY. Evoked response of heart rate variability using short-duration white noise. *Autonomic Neuroscience : Basic & Clinical*. 2010;155(1-2):94–7.
- Leventhall HG.: „Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects. DEFRA. 2003.
- Leventhall H G. Low frequency noise and annoyance. *Noise Health* 2004;6(23):59-72.
- Leventhall HG. Coping Strategie for Low Frequency Noise. DEFRA. 2005.
- Leventhall H G. Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 2009;28(2):79-104.
- Levey S, Fligor BJ, Cutler C, Harushimana I. Portable music player users: Cultural differences and potential dangers. *Noise Health* 2013; 15(66): 296-300.
- Li TL, Gleeson M. The effect of single and repeated bouts of prolonged cycling and circadian variation on saliva flow rate, immunoglobulin A and alpha-amylase responses. *J Sports Sci.* 2004. Nov-Dec; 22(11-12):1015-1024.
- Lu SY, Lee CL, Lin KY, Lin YH. The acute effect of exposure to noise on cardiovascular parameters in young adults. *J Occup Health.* 2018 Jul 25;60(4):289-297.
- Luecken LJ, Gallo LC. *Handbook of Physiological Research Methods in Health Psychology: Measurement of Cortisol*. Sage Publications. USA. 2008; p.37-45. ISBN 978-1-4129-2605-8.
- Meloun M, Hill M, Militky J, Kupka K., Transformation in the PC-aided biochemical data analysis. *Clin Chem Lab Med* 2000, 38 (2000) 553-559.
- Meloun M, Hill M, Militky J, Vrbikova, J, Stanicka S, Skrha J. New methodology of influential point detection in regression model building for the prediction of metabolic clearance rate of glucose. *Clin Chem Lab Med* 2004, 42 (2004) 311-322.
- Meloun M, Militky J, Hill M, Brereton R.G. Crucial problems in regression modelling and their solutions. *Analyst* 2002, 127 (2002) 433-450.

Mercier V, Luy D, Hohmann BW. The sound exposure of the audience at a music festival. *Noise Health* 2003;5:51-58.

Mercier V, Hohmann BW. Is electronically amplified music too loud? what do young people think? *Noise Health* 2002;4(16):47-55.

Michaud DS, Miller SM, Ferrarotto C, Konkle AT, Keith SE, Campbell KB. Waking levels of salivary biomarkers are altered following sleep in a lab with no further increase associated with simulated night-time noise exposure. *Noise Health* 2006;8:30-39.

Míček L. Základní pojmy duševní hygieny. *Psychohygieny* - I. Praha, SPN. 1970a.

Morata TC. Young people: Their noise and music exposures and the risk of hearing loss. *Int J Audiol* 2007;46:111-112.

Moorhouse A.: Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance. University of Salford. 2005.

Müller J, Dietrich S, Janssen T. Impact of free hours od discotheque music on pure-tone thresholds and distortion product otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 2010;128:1853-1869.

MZ ČR, NRL pro komunální hluk. Odborné doporučení pro regulaci expozice hluku z produkce hudby pořádané ve venkovním prostoru. č.j. MZDR 10076/2016-6/OVZ ze dne 21.4.2016. Dostupné z: <http://www.nrl.cz/Content/files/Metodicke-navody/vph-manual-finalni-verze-2016-04-29.pdf>.

MZ ČR. Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. č.j. HEM-300-11.12.01- 34065 ze dne 11.12.2001.

MZ ČR. Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. *Věstník MZ ČR*. 11/2017.

Nater UM, Rohleder N, Gaab J, Berger S, Jud A, Kirschbaum C, Ehlert U. Human salivary alpha-amylase reactivity in a psychosocial stress paradigm. *Int. J. Psychophysiol.* 2005; 55:333-342.

Nater UM, La Marca R, Florin L, Moses A, Langhans W, Koller MM, Ehlert U. Stress-induced changes in human salivary alpha-amylase activity-associations with adrenergic activity. *Psychoneuroendocrinology*. 2006(a) Jan; 31(1):49-58.

Nater UM, Abbruzzese E, Krebs M, Ehlert U. Sex differences in emotional and psychophysiological responses to musical stimuli. *Int Journal of Psychophysiology*. 2006(b) 62: 300-308.

Nater UM, Rohleder N, Schlotz W, Ehlert U, Kirschbaum C. Determinant sof the diurnal course of salivary alpha-amylase. *Psychoneuroendocrinology*. 2007 May; 32(4):392-401.

Nater UM, Rohleder N. Salivary alpha-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous systém:Current state of research. 2009;34:486-496.

Nave R. Threshold of Hearing [online]. cit. 2013-11-29. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/earcrv.html>.

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů ČR, 2011, částka 97:3338-51.

Nilsson U, Unosson M, Rawal N. Stress reduction and analgesia in patients exposed to calming music postoperatively: a randomized controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2005; 22: 96-102.

Opperman DA, Reifman W, Schlauch R, Levine S. Incidence of spontaneous hearing threshold shifts during modern concert performances. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2006;134:667–73.

Otčenášek Z. O subjektivním hodnocení zvuku. Akademie múzických umění v Praze. Praha 2008. ISBN 978-80-7331-113-1.

Pawlaczyk-Luszczynska M, Dudarewicz A, Sliwinska-Kowalska M. Proposals of exposure kriteria for the assessment of low frequency noise at workplaces in industrial control rooms and office-like areas. *Arch Acoust*. 2007;32:303-312.

Pawlaczyk-Luszczynska M, Dudarewicz A, Szymczak W, Sliwinska-Kowalska M. Evaluation of annoyance from low frequency noise under laboratory conditions. *Noise Health* 2010;12:166-81.

Proverbio AM, Manfrin L, Arcari LA, De Benedetto F, Gazzola M, Guardamagna M, Lozano Naší V, Zani A. Non-expert listeners show decreased heart rate and increases blood pressure (far bradycardia) in response to atonal music. *Front Psychol*. 2015;6:1646.

Rashkova MR, Ribagin LS, Toneva NG. Correlation between salivary alpha-amylase and stress-related anxiety. *Folia Medica*. 2012, 54(2): 46-51.

Ratnapalan S, Cieslak P, Mizzi T, McEvoy J, Mounstephen W. Physicians' perceptions of background noise in a pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care*. 2011 Sep;27(9):826-33.

Report „The „Genlyd“ Noise Annoyance Model“, Dose – Response Relationships Modelled by Logistic Functions, Delta AV 1102/07. 20. March 2007.

Rohleder N, Nater UM, Wolf JM, Ehlert U, Kirschbaum C. Psychosocial stress-induced activation of salivary alpha-amylase: an indicator of sympathetic activity? *Ann NY Acad Sci*. 2004. Dec; 1032:258-263.

Rohleder N, Wolf JM, Maldonado EF, Kirschbaum C. The psychosocial stress-induced increase in salivary alpha-amylase is independent of saliva flow rate. *Psychoneuroendocrinology*. 2006 Nov, 43(6):645-652.

Rutherford-Marwick K, Starck C, Dulson DK, Ali A. Salivary diagnostic markers in males and females during rest and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017; 14: 27.

Ryberg JB. A national project to evaluate and reduce high sound pressure levels from music. *Noise Health* 2009; 11(43):124-128.

Řiháček T. Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání. Masarykova univerzita Brno, Mezinárodní politologický ústav. Brno 2009. ISBN 978-80-210-4809-6.

Salomons EM, Janssen SA. Practical Ranges of Loudness Levels of Various Types of Environmental Noise, Including Traffic Noise, Aircraft Noise, and Industrial Noise. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2011; 8: 1847-1864. ISSN 1660-4601, www.mdpi.com/journal/ijerph.

Sammler D, Grigutsch M, Fritz T, Koelsch S. Music and emotion: electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology*. 2007 Mar; 44(2):293-304.

Serra MR, Biassoni EC, Richter U, Minoldo G, Franco G, Abraham S, et al. Recreational noise exposure and its effects on the hearing of adolescents. Part I: An interdisciplinary long-term study. *Int J Audiol* 2005;44:65-73.

Serra MR, Biassoni EC, Hinalaf M, Abraham M, Pavlik M, Villalobo JP, Curet C, Joeke S, Yacci MR, Righetti A. Hearing and loud music exposure in 14-15 years old adolescents. *Noise Health* 2014; 16:320-330.

Schreiber V. *Harmony a lidská mysl*. Praha: Triton. 2004. ISBN 80-7254-433-0.

Spreng M. Possible health effects of noise induced cortisol increase. *Noise Health* 2000; 2(7):59-64.

Strahler J, Mueller A, Rosenloecher F, Kirschbaum C, Rohleder N. Salivary alpha - amylase stress reactivity across different age groups. *Psychoneuroendocrinology*. 2010 May, 47(3):587-595.

Skoluda N, Strahler J, Schlotz W, Niederberger L, Marques S, Fischer S, Thoma MV, Spoerri C, Ehler U, Nater UM. Intra-individual psychological and physiological responses to acute laboratory stressors of different intensity. *Psychoneuroendocrinology*. 2015 Jan;51:227-36.

Smith A, Waters B, Jones H. Effects of prior exposure to office noise and music on aspects of working memory. *Noise Health* 2010;12:235-243.

Smith PA, Davis A, Ferguson M, Lutman ME. The prevalence and type of social noise exposure in young adults in England. *Noise Health* 2000; 2(6):41-56.

Syka J. a kol. *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu*, Avicenum, Praha 1981; 08-010-81.

Suda M, Morimoto K, Obata A, Koizumi H, Maki A. Emotional responses to music: towards scientific perspectives on music therapy. *Neuroreport*. 2008; 19: 75-78.

Susoliakova O, Smejkalova J, Bicikova M, Potuznikova D, Hodacova L, Grimby-Ekman A, Fiala Z.. Salivary cortisol in two professions: daily cortisol profiles in school teachers and firefighters. *Neuro Endocrinol Lett.* 2014; 35(4):314-321.

Ševčíková Ľ., Argalášová Ľ., Bencko V, Davies S, Jurkovičová J, Klement C, Rapantová H, Weitzman M. Environmental health hygiene. Comenius University in Bratislava. Slovakia 2015. ISBN 978-80-223-3930-8.

Šimůnková K, Stárka L, Dušková M, Hill M, Hampl R, Vondra K. Hormony ve slinách: Metodické předpoklady. *Endokrinologie* 2009a.12(3):149-153.

Šimůnková K, Stárka L, Dušková M, Hill M, Hampl R, Vondra K. Současné možnosti využití stanovení steroidních hormonů ve slinách. *Endokrinologie.* 2009b. 12(3):155-161.

Šušoliaková O, Paprštejnová M, Potužníková D, Šmejkalová J. Hodnotenie pracovno-psychickej záťaže slinnými biomarkermi-metodologické aspekty. *Hygiena.* 2011. 56(4):112-115.

Thoma MV, La Marca R, Brönnimann R, Finkel L, Ehlert U, Nater UM. The effect of music on the human stress response. *PloS One.* 2013. 8(8):e70156.

Toyoshima, K., Fukui, H., and Kuda, K. Piano playing reduces stress more than other creative art activities. *Int. J. Music Educ.* 2011. 29: 257–263.

Tronstad TV, Gelderblom FB. Sound exposure during outdoor music festivals. *Noise Health.* 2016 Jul-Aug;18(83):220-8.

Trueba AF, Mizrahi D, Auchus RJ, Vogel PD, Ritz T. Effects of psychosocial stress on the pattern of salivary protein release. *Physiol Behav.* 2012 Feb1; 105(3):841-9.

Uedo N, Ishikawa H, Moimoto K, Ishihara R, Narahara H et al. Reduction in salivary cortisol level by music therapy during colonoscopic examination. *Hepatogastroenterology.* 2004;51: 451-453.

van Kamp I, Davies H. Noise and health in vulnerable groups: A review. *Noise Health.* 2013; 15(641):153-159.

Vaverka J a kol. Stavební fyzika 1, Urbanistická, stavební a prostorová akustika. VUT Brno. 1998. ISBN 80-214-1283-6.

Ventura T, Gomes MC, Carreira T. Cortisol and anxiety response to a relaxing intervention on pregnant women awaiting amniocentesis. *Psychoneuroendocrinology*-2011;37: 148–56.

Vyhláška č. 549/2007 Zz., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životno prostredí. Zbierka zákonov SR, 2007, časťka 230 vyhlásená 30.11.2007, časová verzia predpisu účinná od 1.7.2009.

Wagner J, Cik M, Marth E, Santner BI, Gallasch E, Lackner A, Raggam RB. Feasibility of testing three salivary stress biomarkers in relation to naturalistic traffic noise exposure. *Int J Hyg Environ Health.* 2010 Mar;213(2):153-5.

Walker ED, Brammer A, Cherniack MG, Laden F, Cavallari JM. Cardiovascular and Stress Responses to Short-Term Noise Exposures—A Panel Study in Healthy Males. *Environ Res.* 2016 Oct; 150: 391–397.

Waye KP, Clow A., Edwards S., Hucklebridge F. and Rylander R. Effects of nighttime low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sleep quality. *Life Sciences* 2003;72: 863-875.

Wikimedia: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Powierzchnia_slyszalnosci.svg

Wilhelm I, Born J, Kudielka BM, Schlotz W Wöst S. Is the cortisol awakening rise a response to awakening? *Psychoneuroendocrinology* 2007;32:358-366.

WHO: Night Noise Guidelines for Europe. 2009. ISBN 978 92 890 4173 7.

WHO: Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen. JRC 2011, ISBN 978 92 890 0229.

Wood P. Salivary steroid assays-research or routine? *Ann Clin Biochem.* 2009 May, 46(Pt 3): 183-189.

Wust S, Federenko I, Hellhammer DH, Kirschbaum C. Genetic factors, perceived chronic stress, and the free cortisol response to awakening. *Psychoneuroendocrinology.* 2000a;25:707-720.

Wust S, Wolf J, Hellhammer DH, Federenko I, Schommer N, Kirschbaum C. The cortisol awakening response-normal values and confounds. *Noise Health* 2000b;2:79-88.

Yassi A, Pollock N, Tran N, Cheang M. Risks to hearing from a rock concert. *Can Fam Physician.* 1993 May;39:1045-50.

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Sbírka zákonů ČR*, 2005 prosinec 5; částka 165.

Žiaran S. Nízkofrekvenčný zvuk a jeho vplyv na okolité prostredie. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Tézý inauguračnej prednášky. Bratislava 2013a. ISBN 978-80-227-4124-28.

Žiaran S. Technické faktory ovplyvňujúce efektívnosť protihlukových konštrukcií. In: *Nové trendy akustického spektra: Vedecký recenzovaný zborník*. Zvolen 2013b, str. 169-178. ISBN 978-80-228-2531-3.

Žiaran S. Nízkofrekvenčný hluk a kmitanie. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Bratislava 2016. ISBN 978-80-227-4536-9.